

**DER BLEIGEHALT
MENSCHLICHER KNOCHEN**

**Untersuchungen an Probenmaterial
von 240 Erwachsenen**

Joachim Böhm



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554822_0116

Aus dem Institut für Rechtsmedizin der Universität München

Vorstand: Prof. Dr. med. W. Spann

DER BLEIGEHALT MENSCHLICHER KNOCHEN

Untersuchungen an Probenmaterial von 240 Erwachsenen

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin

an der Medizinischen Fakultät der

Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Joachim Böhm

aus

Stuttgart

Jahr

1986

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: PD Dr. rer. nat. Dr. med. habil. G. Drasch

Mitberichterstatter: 1. Prof. Dr. med. W. Spann
2. Prof. Dr. med. G. Fruhmann

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: ./.

Dekan: Prof. Dr. med. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 05.02.1987

DISSERTATIONS- UND FOTODRUCK FRANK GmbH
8000 München 2, Gabelsbergerstr. 15, Tel. 288663

Herrn Prof. Dr. W. Spann möchte ich herzlich dafür danken, daß ich an seinem Institut als Doktorand tätig sein durfte.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Dr. G. Drasch, für die Überlassung des Themas, die wohlwollende Betreuung meiner Arbeit und seine vielen wertvollen Ratschläge.

Besten Dank auch meiner Mutter für Rat und Hilfe bei der Schreibearbeit.

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Einleitung	1
1.1.	Blei - chemische Charakterisierung	1
1.2.	Geschichte der Bleinutzung	1
1.3.	Bleibelastung des Menschen	2
1.3.1.	Grundbelastung	3
1.3.2.	Zusatzbelastungen	5
1.4.	Kinetik von anorganischen Bleiverbindungen	5
1.4.1.	Aufnahme	6
1.4.2.	Transport und Verteilung	6
1.4.3.	Ausscheidung	9
1.5.	Toxische Wirkungen von anorganischen Bleiverbindungen	9
1.6.	Organische Bleiverbindungen	11
2.	Problemstellung	13
3.	Untersuchungsmaterial	13
4.	Untersuchungsmethode	15
4.1.	Probenentnahme	15
4.2.	Probenaufarbeitung	16
4.3.	Quantitative Bleibestimmung	16
5.	Ergebnisse	20
6.	Diskussion	25
6.1.	Eigene Messungen	25
6.1.1.	Variation der Bleikonzentration innerhalb des Knochens	25
6.1.2.	Abhängigkeit vom Knochentyp	26
6.1.3.	Abhängigkeit vom Geschlecht	29
6.1.4.	Abhängigkeit vom Lebensbereich	30
6.1.5.	Abhängigkeit vom Lebensalter	32
6.1.6.	Abhängigkeit von Geschlecht und Lebensbereich	36
6.1.7.	Abhängigkeit von Geschlecht und Lebensalter	39
6.1.8.	Abhängigkeit von Lebensbereich und Lebensalter	42
6.1.9.	Abhängigkeit von Geschlecht, Lebensalter und Lebensbereich	46
6.1.10.	Gesamtkörperbelastung mit Blei	51

6.2.	Vergleich mit Literaturangaben	52
6.2.1.	Vergleich mit Kreglinger (1977)	52
6.2.2.	Vergleich mit anderen Autoren	57
6.2.2.1.	Barry, 1975	59
6.2.2.2.	Gross, 1975	61
6.2.2.3.	Schröder und Tipton, 1968	63
6.2.2.4.	Ulrich, 1978	64
6.2.2.5.	Fischer und Weigert, 1979	64
6.2.2.6.	Grandjean, 1975	65
6.2.2.7.	Grandjean, 1979	66
6.2.2.8.	Lindh, 1980	67
6.2.2.9.	Jeanmaire, 1976	67
7.	Zusammenfassung	70
8.	Literaturverzeichnis	72

1. EINLEITUNG

1.1. Blei – chemische Charakterisierung

Blei ist ein in der Natur allgegenwärtiges Schwermetall. Das chemische Element Pb (lat. plumbum = Blei) tritt 2- oder 4-wertig auf, hat die Ordnungszahl 82 und ein Atomgewicht von 207,19. Makroskopisch erscheint es blaugrau schimmernd; es ist weich und dehnbar. Die vier natürlichen Isotope des Bleis, nämlich ^{204}Pb (Anteil 1,5%), ^{206}Pb (23,6%), ^{207}Pb (22,6%) und ^{208}Pb (52,3%), bilden die Endprodukte der Zerfallsreihen verschiedener radioaktiver Elemente. Blei schmilzt bei $327,4^{\circ}\text{C}$ und siedet bei 1740°C . Es ist ein relativ edles Metall, denn es wird nur von Salpetersäure unter Bildung von Nitrat schnell gelöst. An der Luft, in sauerstoffhaltigem Wasser bzw. in Gegenwart anderer Säuren bilden sich oberflächlich unlösliche Bleiverbindungen, die das darunterliegende Metall vor weiterem Angriff schützen (Dewes, 1983; Ewers und Schlipköter, 1984).

1.2. Geschichte der Bleinutzung

Die Geschichte der Verwendung des Bleis reicht weit zurück; bereits in den ägyptischen und babylonischen Hochkulturen war es als Werkstoff und Bestandteil von Gebrauchsgegenständen bekannt (Koelsch, 1963 zit. nach Lehnert, 1983). In Europa wurde das Metall ab 550 v. Chr. zum ersten Male abgebaut und verhüttet (Drasch, 1983). In der Folgezeit, besonders aber zur Zeit des Römischen Reiches und im Mittelalter, fand Blei in vielen Bereichen Verwendung. Eine detaillierte Darstellung dazu enthält die Monographie von Grandjean (1975). An dieser Stelle mögen einige Beispiele die Nutzung des Bleis in der Antike und im Mittelalter illustrieren:

- Kosmetika: Bleiweiß zum Schminken;
Bleisulfid/Bleioxid zum Färben der Haare;
- Keramiken: bleihaltige Glasuren;
- Malerei: bleihaltige Farben;
- Schreibutensilien: "Bleistift";
- Wasserleitungsrohre: aus Blei wegen der guten Verformbarkeit;

- im Wein: Zugabe von Bleiacetat, das süßlich schmeckt, als Fungizid wirkt und die saure Vergärung des Weines stoppt, ohne die Farbe des Weines zu verändern (Drasch, 1983; Ritz 1985; Grandjean, 1975).

Obwohl die Giftigkeit von Blei schon in der Antike teilweise erkannt und beispielsweise von Nicander im 2. Jh. v. Chr. beschrieben worden war, blieb das Wissen über Bleivergiftungen jahrhundertlang sehr begrenzt. Erst in der Neuzeit gelang es, die Ätiologie von Bleivergiftungen zu klären. Noch bis in das 19. Jh. hinein blieben diese Kenntnisse auf wenige medizinische Fachkreise beschränkt und bezogen sich hauptsächlich auf berufsbedingte Vergiftungsfälle.

In der Medizin fanden bleihaltige Präparate zur externen wie internen Applikation für verschiedene Indikationen (z.B. als Abortivum) bis in unser Jahrhundert hinein Verwendung (Grandjean, 1975). Dagegen werden heutzutage kaum mehr bleihaltige Arzneien angewandt, abgesehen von Pflastern und Salben zur äußeren Anwendung in der Dermatologie (Drasch, 1983).

Mit zunehmender Industrialisierung nahm auch der Weltverbrauch an Blei seit 1800 beständig auf heute (1980) etwa 5,3 Mio. Tonnen zu. Der Bedarf wird gedeckt durch Bergbauförderung von Bleierzen, die in Hüttenwerken zu metallischem Blei verarbeitet werden; ein beträchtlicher Teil (bis zu 40%) wird durch Recycling gewonnen. Das raffinierte Blei dient in erster Linie zur Produktion von Bleibatterien (40%) und von Kraftstoffzusätzen (10%, Tetramethyl-/Tetraethylblei). Darüber hinaus wird es noch zur Herstellung von Chemikalien, Legierungen, Kabelummantelungen, Strahlenschutzplatten, Gewichten etc. verwendet. Die industrielle Verarbeitung des Bleis bringt es mit sich, daß der ursprüngliche natürliche Bleigehalt der Umwelt - das ubiquitäre Metall findet sich im Erdboden, in Gewässern und in der Atmosphäre - durch eine anthropogene Umweltkontamination überlagert wird (Ewers und Schlipkötter, 1984).

1.3. Bleibelastung des Menschen

In Anlehnung an die Definition von Lehnert (1983) kann man unter der Bleibelastung des Menschen die Menge Blei verstehen, die dem Organismus aus seiner Umgebung zur Aufnahme angeboten wird. Diese Bleilast läßt sich un-

tergliedern in eine Grund- und eine Zusatzbelastung, wobei letztere wiederum in eine berufliche und in eine außerberufliche Zusatzbelastung unterteilbar ist.

1.3.1. Grundbelastung

Die Grundbelastung ist gleichzusetzen mit der Bleibelastung der Allgemeinbevölkerung, also eine Art Mindestbelastung, die sich dem Menschen durch den Bleigehalt von Nahrungsmitteln, Getränken und Luft unvermeidbar aufdrängt. Die Grundbelastung ist vorwiegend alimentär bedingt und dem Betrage nach für jedermann in Deutschland etwa gleich (Lehnert, 1983).

Collet (1983) untersuchte den Bleigehalt von Lebensmitteln im Saarland. Er stellt fest, daß der Bleigehalt von Lebensmitteln tierischer Herkunft - mit Ausnahme von Innereien und Miesmuscheln - deutlich niedriger liegt als in Nahrungspflanzen. Zur Begründung wird angegeben, daß die Tiere das mit dem Futter aufgenommene Schwermetall vorwiegend in Leber, Nieren und Knochengewebe ablagern, wohingegen in das Muskelfleisch und in die Milchdrüsen nur wenig Blei gelangt. So weisen auch Milchzeugnisse nur geringe Bleikonzentrationen auf. Der Bleigehalt der Fische hängt stark von der Bleibelastung des Gewässers ab. Daher enthalten Meeresfische eher geringe Bleimengen. Süßwasserfische hingegen, besonders aber Flußfische aus einem Industriegebiet (Saar) erreichen mitunter den Konzentrationsbereich der inneren Organe von Schlachttieren. Weitaus am stärksten mit Blei kontaminiert ist das Fleisch von Miesmuscheln. Die vielfach in stark verschmutzten Küstengewässern gezüchteten Tiere filtrieren das Meereswasser. Auf diese Weise kann sich das Blei bis zum 1000-fachen in ihrem Körper anreichern.

Die höhere Bleibelastung pflanzlicher Nahrungsmittel beruht im wesentlichen auf einer direkten Oberflächenkontamination durch atmosphärische Einflüsse wie Abgase und Stäube; aus den Wurzeln nehmen die Pflanzen dagegen nur wenig Blei auf (Treptow und List, 1983; Bimbös, 1984). Die höchsten Werte wurden bei Pflanzen gefunden, die aus unmittelbarer Nähe (> 10 m) stark befahrener Straßen bzw. in der Umgebung von bleiverarbeitenden Industriebetrieben stammen, besonders, wenn sie über eine große Oberfläche verfügen, wie z.B. die Petersilie (Weigert, 1984; Bimbös, 1984).

Es ist aber darauf hinzuweisen, daß durch küchentechnische Zubereitung pflanzlicher Lebensmittel (Waschen der Rohware, Schälen und Blanchieren) der größte Teil der ursprünglichen Bleimenge entfernt werden kann. (Collet, 1983; Treptow und List, 1979; Weigert, 1984; Klein, 1983; Kampe, 1983). Bimbös (1984) kommt zu dem Ergebnis, daß an der Bleizufuhr über Nahrungsmittel pflanzliche Produkte zu 85%, tierische Produkte jedoch nur zu 15% beteiligt sind.

Auch über das Trinkwasser kann Blei in den Menschen gelangen. Zwar legt die Trinkwasserverordnung vom 1.1.1975 fest, daß Trinkwasser in der BR Deutschland maximal 0,04 mg Blei/l enthalten darf (Höll, 1979), jedoch führt der durch den Wasserbedarf des Organismus regelmäßige Wasserkonsum dazu, daß immerhin 10% des peroral aufgenommenen Bleis aus dem Trinkwasser stammen (Bimbös, 1984).

Bei bleihaltigen Trinkwasserrohren in Verbindung mit weichem Wasser kann der Bleigehalt des Wassers dadurch erhöht sein, daß Blei aus den Rohren herausgelöst wird* (Crawford, 1973; Sharrett, 1977; Konietzko, 1979; Ewers und Schlipkötter, 1984).

Die aerogene Bleibelastung des Menschen ist heutzutage fast durchweg anthropogen bedingt. Hauptquelle (BRD: 70%, Lehnert, 1983) sind dabei die Emissionen des Kraftfahrzeugverkehrs, die als Folge der Verbrennung von bleihaltigem Benzin entstehen (siehe 1.6.). Dabei handelt es sich meist um leichten Schwebestaub (Teilchendurchmesser $< 5 \mu\text{m}$), der mit dem Wind über größere Entfernungen selbst in entlegene Gebiete verfrachtet werden kann (Ewers und Schlipkötter, 1984). Den besten Beweis hierfür lieferte die Untersuchung von Proben des grönländischen Inlandeises (Murozumi, 1969, zit. nach Grandjean, 1975). Der Schnee eines Jahres wird dort in Schichten abgelagert und durch den ständigen Frost über Jahrhunderte konserviert. Die Untersuchung ergab für Eis aus dem Zeitraum zwischen 800 v.Chr. und 1750 nur eine geringfügige, danach eine schnellere, seit 1940 aber eine markante Zunahme der Bleikonzentration. Für diese neueste Entwicklung macht Grandjean in erster Linie die Bleiemissionen durch verbleiten Kraftstoff verantwortlich. Zu den Auswirkungen der jüngst ergriffenen Maßnahmen zur Verminderung des Bleigehalts im Benzin siehe 6.2.1.

* In München sind Bleiwasserrohre nurmehr in Hausanschlußleitungen einiger vom Krieg verschont gebliebener Altbaubezirke ($< 1\%$ aller Haushalte) anzutreffen. Sie werden seit 1918 nicht mehr eingebaut. Messungen ergaben Bleiwerte, die im Höchstfall die Hälfte des erlaubten Grenzwertes ausmachten. - Das Münchner Wasser weist den Härtegrad 3 (mittelhart) auf. (Dr. Schmidt, Wasserwerke München, pers. Mitteilung).

1.3.2. Zusatzbelastungen

Wie bereits erwähnt, unterscheidet Lehnert (1983) eine berufliche von einer außerberuflichen Zusatzbelastung.

Die Liste der Berufe, die den Umgang mit Blei erfordern, umfaßt etwa 150 verschiedene Tätigkeiten (Konietzko, 1979). Am Arbeitsplatz erfolgt eine Bleiaufnahme in der Regel inhalativ. Es ist den Fortschritten der Arbeitsmedizin zu verdanken, daß trotz der großen Zahl bleigefährdeter Arbeitsplätze in der BR Deutschland nur etwa 100 Personen eine laufende Rente wegen einer Erkrankung durch Blei oder seine Verbindungen gemäß BK-Nr. 1101 beziehen (Lehnert, 1983).

Auch die außerberuflichen Zusatzbelastungen sind überwiegend inhalativ wirksam. Sie können den Menschen in der näheren Umgebung industrieller Bleiemittenten, wie Hüttenwerke, Kohlekraftwerke und Müllverbrennungsanlagen betreffen. Die hier freigesetzten bleihaltigen Stäube weisen im Vergleich zum Schwebestaub der Benzinbleiemission einen größeren Teilchendurchmesser ($>5 \mu\text{m}$) auf. Die schweren Partikel sedimentieren rasch und bedingen den geringen Ausbreitungsradius dieser industriellen Bleistäube (Ewers und Schlipköter, 1984).

Eine andere Möglichkeit der außerberuflichen Zusatzbelastung ist durch einen langfristigen Aufenthalt in der Nähe von Verkehrsknotenpunkten denkbar.

Schließlich sind in diesem Zusammenhang auch das Rauchen und der Alkoholkonsum zu nennen, die zu erhöhten Blutbleiwerten führen können (Lehnert, 1983; Brockhaus 1980 und 1983). Liese und Simon (1984) sowie Hammer (1973) fanden jedoch keinen Einfluß des Rauchens auf den Bleigehalt in Rippen.

1.4. Kinetik von anorganischen Bleiverbindungen

In ihrem biologischen Verhalten unterscheiden sich die anorganischen Bleiverbindungen wesentlich von den organischen Bleiverbindungen. Da in der ärztlichen Praxis weitaus häufiger Vergiftungen mit anorganischen als mit organischen Bleiverbindungen zu beobachten sind (Konietzko, 1979), werden Kinetik und toxische Wirkungen der organischen Bleiverbindungen in 1.6. zusammenfassend dargelegt.

1.4.1. Aufnahme

Die Aufnahme anorganischen Bleis kann auf zwei Wegen erfolgen:

- über die Lunge (Inhalation bleihaltiger Dämpfe und Stäube);
- über den Gastrointestinaltrakt (Ingestion bleihaltiger Nahrungsmittel und Flüssigkeiten).

Für die pulmonale Resorption ist es von Bedeutung, daß nur die Aerosole mit einem Durchmesser unter 5 µm bis in die Lunge gelangen können, während größere Partikel in den oberen Luftwegen liegenbleiben und über den Selbstreinigungsmechanismus des Bronchialsystems wieder aus den Atemwegen entfernt werden. Die lungengängigen Teilchen werden jedoch zu 80% resorbiert (Konietzko, 1979). Die inhalative Bleizufuhr ist vorwiegend berufsbedingt.

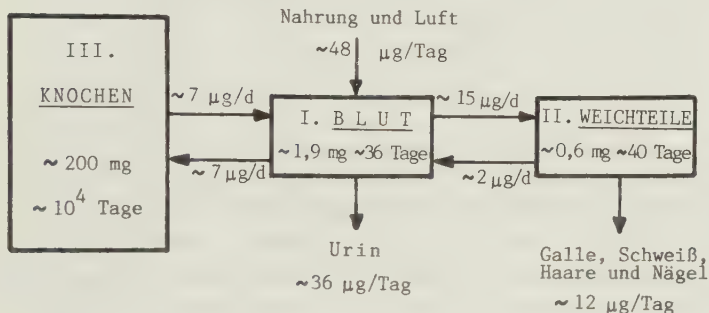
Die enterale Bleiaufnahme - nach Lehnert (1983) ist die Bleibelastung der Allgemeinbevölkerung überwiegend alimentär bedingt - erfolgt vorwiegend im Duodenum (De Michele, 1983). Dabei ist die Resorptionsquote mit 5 - 10% relativ gering (bei Kindern bis zu 50%), sie wird von der Nahrungszusammensetzung mitbeeinflusst. Neben der Löslichkeit der aufgenommenen Bleiverbindung (organ.) Bleiacetat > -chlorid > -oxid > -sulfid; Konietzko, 1979) fördern u.a. auch Proteine, Fette und Vitamin D die Bleiabsorption, wohingegen Eisen, Kalzium, Phosphate, Zink, Magnesium und Ethanol die Bleiaufnahme hemmen (Moore, 1979; De Michele, 1983).

Mahaffey (1980) beschreibt, daß Blei seine toxischen Wirkungen besonders bei kalzium- oder eisenarmer Ernährung entfalten kann. Grund dafür ist eine in diesen Fällen verbesserte intestinale Absorption des Nahrungsbleis. Konsekutiv kann es zu einer Mehranreicherung des Bleis im Knochengewebe und in anderen Organen kommen. Die bereits inkorporierte Bleimenge hat keinen Einfluß auf die Bleiabsorption, denn das Blei unterliegt keinem Feedback-Mechanismus, der seine Resorption in Grenzen hält (De Michele, 1983).

1.4.2. Transport und Verteilung

Das über die Lungen und den Gastrointestinaltrakt resorbierte Blei gelangt zunächst in das zirkulierende Blut, wobei es zu 95% an die Erythrozytenmembran gebunden wird (Lehnert, 1983). Zur Beschreibung der weiteren Bleikinetik im Organismus des erwachsenen Menschen hat Rabinowitz (1976) ein 3-Kompartiment-Modell entworfen (s. Abb. 1):

Abbildung 1: 3-Kompartiment-Modell des Bleistoffwechsels des erwachsenen Menschen nach Rabinowitz (1976). Für jedes Kompartiment ist die Menge sowie die mittlere Verweildauer des Bleis angegeben. Quantitativer Bleiaustausch zwischen den Pools, resorbierte und ausgeschiedene Bleimengen.



- Das erste Kompartiment besteht vorwiegend aus dem Blutvolumen und enthält etwa 1,9 mg Blei. Es nimmt innerhalb des Modells eine zentrale Position ein, denn neben der Übernahme des Bleis aus den Resorptionsorganen vermittelt es den Austausch mit den beiden anderen Kompartiments und gibt auszuscheidendes Blei an den Urin ab.
- Das zweite Kompartiment umfaßt die Weichteile, möglicherweise auch stoffwechselaktiveren Teile des Skeletts. Dieser Pool enthält etwa 0,6 mg Blei und speist die Bleiabgabe via Schweiß, Verdauungssekreten, Haaren und Nägeln.
- Das dritte Kompartiment ist wegen der hohen Affinität des Bleis zum Knochengewebe der eigentliche Bleispeicher des menschlichen Körpers (bis 200 mg).

Beim Erwachsenen werden mehr als 90% des aufgenommenen Bleis im Skelettsystem in Form des schwerlöslichen tertiären Bleiphosphats abgelagert, wobei es im Knochen an die Stelle des ebenfalls osteophilen Kalziums tritt (De Michele, 1983). Nach Lehnert (1983) ersetzt das Blei dabei das Kalzium im Hydroxylapatit ($3 \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$), welches Bestandteil der Mineralsubstanz des Knochens ist.

Verlaufsbeobachtungen nach einmaliger Injektion von radioaktivem ^{203}Pb (Heard und Chamberlain, 1984) ergaben, daß die Bleiaufnahme durch das Skelettsystem nur relativ langsam vonstatten geht. Nach 50 Stunden waren erst 13% der injizierten Dosis im Knochen abgelagert worden und auch 20 Tage post injectionem waren es erst 22%. Allerdings waren zu diesem Zeitpunkt auch erst 30% des Bleis definitiv ausgeschieden worden, eine Folge der festen Bindung an die Erythrozyten (im übrigen: 24% im Blut, 15% in der Leber am 20. Tag p.i.).

Im Falle einer azidotischen Stoffwechsellage, bei Immobilität, fieberhaften Erkrankungen und nach Applikation von Kortikosteroiden kann im Knochen lagerndes Blei - wie auch das Kalzium - remobilisiert werden und wieder in das Blut überwechseln, so daß es sogar durch Mobilisierung deponierten Bleis zu Vergiftungserscheinungen ("Bleikrisen") im Rahmen einer chronischen Bleibelastung kommen kann (Forth, 1975). Innerhalb des Skelettsystems weisen spongiöse Knochen erheblich höhere Stoffwechselaktivitäten auf als kompaktareiche Knochen (Rabinowitz, 1976).

Während das Blei in den Kompartments 1 und 2 im Schnitt 36 bzw. 40 Tage verbleibt, schätzt Rabinowitz (1976), daß die Verweildauer im Knochengewebe 10^4 Tage, also etwa 27 Jahre, beträgt. Auch wenn daraus abgelesen werden kann, daß Blei sich im Laufe der Jahre im Organismus anreichert, ist bei gleichbleibender Exposition nicht mit einer unbegrenzten Zunahme der Bleilast zu rechnen; es stellt sich vielmehr nach gewisser Zeit ein Gleichgewicht zwischen Bleiaufnahme und -ausscheidung ein (Kehoe, 1961, zit. nach Lehnert, 1983; Forth, 1975).

Entsprechend den dargestellten Verteilungsverhältnissen des Bleis im menschlichen Organismus kann der Nachweis einer längerfristigen Bleiexposition eines Individuums durch Untersuchung von Knochengewebe (Biopsie!) erfolgen, während die Messung der Blutbleikonzentration zur Überwachung eines Patienten bei akuter Bleiexposition dienen kann (Brown, 1979; Brockhaus, 1980; Einbrodt, 1983).

1.4.3. Ausscheidung

Wegen der geringen intestinalen Resorptionsquote wird oral zugeführtes (nicht resorbiertes) Blei größtenteils über den Stuhl ausgeschieden (De Michele, 1983). Resorbiertes Blei wird zum großen Teil (75-80%) über die Nieren, zu 15% durch gastrointestinale Sekretion eliminiert. Der Rest wird in Haare und Nägel eingelagert oder mit dem Schweiß, ggf. mit der Milch abgegeben (Ewers und Schlipköter, 1984).

1.5. Toxische Wirkungen von anorganischen Bleiverbindungen

Nach heutigem Wissensstand hat der menschliche Organismus keinen physiologischen Bleibedarf; als Spurenelement ist Blei also nicht essentiell (Moore, 1979; Nielsen, 1984). Dagegen besitzt das Metall erhebliche toxi-kologische Bedeutung. Blei entfaltet seine Giftwirkung im menschlichen Körper an drei Angriffspunkten (Forth, 1975):

1. Hämsynthese: Blei ist in der Lage, die Enzyme zu hemmen, deren katalysatorische Fähigkeit auf einer funktionellen Sulfhydryl-Gruppe beruht, indem es mit diesen Gruppen eine chemische Reaktion eingeht (Lehnert, 1983). In der Synthesekette des Häms, der prosthetischen Gruppe des Hämoglobins, sind dadurch folgende drei Enzyme betroffen:
 - die Deltaaminolävulinsäure-Dehydratase (ALA-D), mit konsekutivem Anstieg der nicht umgesetzten ALA im Blut und im Urin;
 - die Koproporphyrinogen-Decarboxylase mit ersatzweiser Metabolisierung des Koproporphyrinogen III zu Koproporphyrin III, einem Farbstoff, der Haut und Urin bräunlich verfärbt;
 - die Hämsynthetase, mit fehlendem Eiseneinbau in das Protoporphyringerüst.

Die Auswirkungen dieser bleibedingten Enzymhemmung auf das Blutbild sind eine hypochrome hämolytische Anämie sowie häufig eine basophile Tüpfelung der Erythrozyten.

2. Glatte Muskulatur: Durch Hemmung der Na-K-ATPase (Ritz, 1985) bewirkt Blei eine Kontraktion der glatten Muskulatur der Blutgefäße und des Darmes (Konietzko, 1979). Diese Bleiwirkung kann sich manifestieren als

a) sog. "Bleikolorit", eine blasse, grau-gelbliche Hautfarbe, die durch das gleichzeitige Auftreten einer subikterischen Verfärbung,

einer Anämie, einer Porphyrinämie und eines Spasmus der Hautgefäße zustandekommt (Kuschinsky/Lüllmann, 1984);

b) Obstipation und Bleikolik durch Kolonspasmen der glatten Muskulatur (Poeck, 1982);

c) Nierengefäßschädigung mit Hypertonie, Gicht und Schrumpfnierenbildung (Emmerson, 1973; Wedeen, 1983; Ritz, 1985);

d) Amblyopathia saturnina, durch Spasmen der Retinalgefäße (Konietzko, 1979);

e) Encephalopathia saturnina, durch Spasmen der Zerebralgefäße, die zu den verschiedensten neurologischen Symptomen bis hin zur akuten exogenen Psychose, Koma und Tod führen kann (Poeck, 1982).

3. Motorische Nervenzellen: Blei führt zu einer Polyneuropathie, die auffälligerweise fast ausschließlich die Extensoren der Hände und der Finger sowie der Unterschenkel betrifft, die gelähmt werden. Ursache ist eine segmentale Entmarkung der motorischen Nervenfasern (Poeck, 1982).

Die Vergiftungen mit anorganischen Bleiverbindungen können in eine akute und eine chronische Verlaufsform unterteilt werden.

Die akute Bleivergiftung ist heutzutage extrem selten (Kuschinsky/Lüllmann, 1984; Lehnert, 1983). Nach massiver Aufnahme von Bleisalzen kommt es dabei zu einer Anämie, zu Bleikoliken sowie zu Schäden an Leber, Nieren und ZNS. Auch Metrorrhagien und Aborte können vorkommen.

Die chronische Bleiintoxikation wird in der Regel im gewerblichen Bereich, aber auch nach unbeabsichtigter Bleiaufnahme im Alltag beobachtet (Konietzko, 1979). Bei beständiger Aufnahme kleiner Bleimengen - 1 mg täglich per os genügen (Kuschinsky/Lüllmann, 1984) - kommt es nach Überschreitung der Auffangkapazität in den Knochenspeichern allmählich zu Krankheitszeichen (Forth, 1975). Typisch für die chronische Bleivergiftung ist der schleichende Beginn mit uncharakteristischen Symptomen wie Müdigkeit, Kopfschmerzen, Appetitlosigkeit und Reizbarkeit (Konietzko, 1979). Im Vollbild der chronischen Form der Bleivergiftung kann es zu den obengenannten Krankheitsmerkmalen kommen. Ein weiteres Symptom der Bleikrankheit ist der Bleisaum, eine gräulich-schwärzliche Verfärbung des Zahnfleischrandes, der eine perikapilläre Bleisulfidablagerung darstellt. Da zu der Bildung des Bleisulfids Mundbakterien notwendig sind,

ist der Ausprägungsgrad des Bleisaumes abhängig von der Mund- und Zahnpflege des Patienten (Forth, 1975).

Für die Diagnostik der Bleivergiftung ist neben dem klinischen Befund die Bestimmung der Bleikonzentration und der ALA-D im Blut von entscheidender Bedeutung (Kuschinsky/Lüllmann, 1984). Bei unklarer Symptomatik vermögen nach Konietzko (1979) die Untersuchung des roten Blutbildes sowie die Bestimmung der Konzentrationen von Blei, Deltaaminolävulinsäure und Koproporphyrin III im Urin die Diagnose "Bleivergiftung" zu sichern.

Für Screeningzwecke empfiehlt Jantzen (1981) die Blutbleiuntersuchung als Maß für die aktuelle Bleibelastung des Menschen, ergänzt durch die Bestimmung des Freien Erythrozyten-Porphyrins (FEP) als Hinweiszeichen auf eine zurückliegende chronische Bleibelastung. Ein diagnostischer Bleimobilisationstest mit Ca-EDTA ermöglicht die Abschätzung des Depotbleigehalts in den Knochen (Gross/Schölmerich, 1982). Dagegen eignet sich eine Röntgenaufnahme des Skeletts - wegen der im Verhältnis zur Knochenmasse verschwindend kleinen Bleimenge - nicht zum Nachweis einer chronischen Bleibelastung (Schwörer, 1983).

Bei klinisch manifesten Intoxikationen ist die Therapie der Wahl eine Kombination der Chelatbildner Na-Ca-EDTA und D-Penicillamin, die das Blei im Intra- und im Extrazellulärraum binden und einer renalen Elimination zuführen (Kuschinsky/Lüllmann, 1984). Die Behandlung leichterer Vergiftungsformen sollte symptomatisch erfolgen (Lehnert, 1983; Konietzko, 1979).

Nach Auswertung der Literatur kommt Lehnert (1983) zu dem Ergebnis, daß eine mutagene oder karzinogene Wirkung des Bleis unwahrscheinlich und auch eine teratogene Wirkung nur bei hohen Bleidosen gegeben ist.

1.6. Organische Bleiverbindungen

Unter den organischen Bleiverbindungen kommt den Bleialkylen Tetramethyl- bzw. Tetraethylblei die größte Bedeutung zu. Diese Substanzen werden dem Benzin für Ottomotoren als Antiklopfmittel zugegeben, um die Verdichtungsfestigkeit des Treibstoffs zu erhöhen (Röderer, 1984). Beim Verbrennungsvorgang im Motor zerfallen sie nahezu vollständig und werden mit den Auspuffgasen als anorganisches Aerosol an die Umwelt abgegeben.

Unvollständige Verbrennung des Benzins, insbesondere aber unvorsichtiger Umgang mit Benzin bilden ein Gefährdungspotential für einige Berufsgruppen (Tankwarte, Tankreiniger, Personal von Tiefgaragen, Kfz-Reparaturwerkstätten etc.) sowie für sog. "Benzinschnüffler", die sich durch Inhalation von Benzindämpfen in einen Rauschzustand zu versetzen suchen (Drasch, 1983).

Organische Bleiverbindungen sind deshalb so gefährlich, weil sie wegen ihrer guten Lipidlöslichkeit leicht über die äußere Haut, die Schleimhäute und über die Lungen in größeren Mengen aufgenommen werden (Kuschinsky/Lüllmann, 1984). Organobleiverbindungen greifen selektiv das ZNS an und verursachen akut schwere neurologische Schäden. Die Symptome der Vergiftung mit anorganischem Blei treten nicht auf (Röderer, 1984); auch die Therapie mit Komplexbildnern bleibt ohne Erfolg (Kuschinsky/Lüllmann, 1984).

2. PROBLEMSTELLUNG

Wie frühere Untersuchungen (Barry und Mossman, 1970; Barry 1975; Schroeder und Tipton, 1968) zeigten, wird der weitaus größte Teil des vom Menschen resorbierten Bleis, nämlich beim Erwachsenen zwischen 90 und 95%, im Skelettsystem abgelagert. Die Remobilisation des Bleis aus seinen ossären Speichern ist gering, die durchschnittliche Verweildauer im Knochen beträgt 27 Jahre (Rabinowitz, 1976). Infolgedessen ermöglicht die Bestimmung der Bleikonzentration im Knochengewebe Aussagen über das Ausmaß der langfristigen Bleiexposition.

Es war das Ziel dieser Arbeit, aktuelle (1984) Vergleichswerte der Bleikonzentration in verschiedenen Knochentypen für beruflich nicht Blei-belastete Bevölkerungsgruppen aus dem südbayerischen Raum zu schaffen und diese mit den Ergebnissen einer früheren Untersuchung (Kreglinger, 1977) zu vergleichen, die unter ähnlichen Bedingungen an Knochenmaterial von im Jahre 1974 Verstorbenen durchgeführt worden war.

Es geht insbesondere um die Klärung der Frage, ob die zwischen 1974 und 1984 getroffenen Maßnahmen zur Verminderung der Bleibelastung der Umwelt - wie etwa die Begrenzung des gesetzlich erlaubten Bleigehalts im Benzin in der Bundesrepublik Deutschland von 0,40 g/l auf 0,15 g/l im Jahre 1976 - Auswirkungen auf die Bleikonzentration in den Knochen hatten. Darüber hinaus soll diese Arbeit auch dazu beitragen, den Stand vor der beabsichtigten generellen Einführung von bleifreiem Benzin zu dokumentieren, um in einigen Jahren die Folgen dieses Schrittes auf den Knochenbleigehalt nachweisen zu können. Schließlich werden die Ergebnisse dieser Arbeit noch mit den Angaben aus der Literatur verglichen.

3. UNTERSUCHUNGSMATERIAL

Das untersuchte Knochenmaterial stammt von 240 im Zeitraum zwischen Oktober 1983 und Februar 1985 verstorbenen Erwachsenen, die im Institut für Rechtsmedizin der Universität München obduziert worden sind. Alle Verstorbenen hatten vor ihrem Tode zuletzt im südbayerischen Raum gelebt. Von je-

Tabelle 1: Verteilung des Untersuchungsgutes (n=240) nach Geschlecht und Lebensbereich.

	<u>männlich</u>	<u>weiblich</u>
<u>Stadt</u> :	60	60
<u>Land</u> :	60	60

Tabelle 2: Verteilung des Untersuchungsgutes (n=240) nach Alter, Geschlecht und Lebensbereich.

Alter	<u>männlich</u> Stadt	<u>weiblich</u> Stadt	<u>männlich</u> Land	<u>weiblich</u> Land
20 - 29	10	10	10	10
30 - 39	10	10	10	10
40 - 49	10	10	10	10
50 - 59	10	10	10	10
60 - 69	10	10	10	10
über 70	10	10	10	10

Tabelle 3: Durchschnittsalter der Teilpopulationen (vgl. 6.1.6.) sowie aller Erwachsener. Arithmetische Mittelwerte.

männliche Stadtbevölkerung:	(n=60)	49,9 Jahre
weibliche Stadtbevölkerung:	(n=60)	50,0 Jahre
männliche Landbevölkerung:	(n=60)	50,6 Jahre
weibliche Landbevölkerung:	(n=60)	50,1 Jahre
alle Erwachsenen:	(n=240)	50,2 Jahre

der Leiche wurden Knochenproben aus der Felsenbeinpyramide (Pars petrosis ossis temporalis), dem Beckenkamm im Bereich der Spina iliaca anterior-superior und ein Corticalispan aus dem mittleren Femurschaftbereich (Femur-diaphyse) entnommen. Diese drei Knochen wurden aus folgenden Gründen ausgewählt:

- das Felsenbein ist der Knochen des menschlichen Körpers, der die höchste Bleikumulation aufweist (Barry, 1975);
- der Beckenkamm kann als Musterbeispiel eines spongiosareichen Knochens gelten; zudem ist es möglich, im Rahmen von Biopsien auch in vivo relativ leicht Knochengewebe dem Beckenkamm zu entnehmen;
- der Femurschaft vertritt dagegen die kompaktareichen Röhrenknochen.

Um ein möglichst ausgeglichenes Kollektiv bezüglich der Kriterien Geschlecht, Lebensalter sowie Lebensbereich (nach dem letzten Wohnort entweder Stadt oder Land) zu erhalten, wurden die Knochenproben jeweils gleich vieler Männer wie Frauen, Städter wie Landbewohner aller Altersklassen gesammelt (Tab. 1-3).

Dabei ist zu beachten, daß unter "Stadt" die Großstadt München incl. ihrer Vororte zu verstehen ist, der Begriff "Land" hingegen den übrigen südbayerischen Raum umfaßt, womit nicht nur ländliche Gebiete, sondern auch kleinere und mittelgroße Städte der Kategorie "Land" zuzuordnen sind.

Eine weitergehende Differenzierung etwa nach Beruf, Hobbies, Rauch- und Trinkgewohnheiten, sozialer Herkunft etc. wurde nicht durchgeführt, da Angaben darüber - per Fremdanamnese zu erhalten - oft zu wenig verlässlich sind bzw. sich diese Kriterien im Laufe eines Lebens ändern können.

4. UNTERSUCHUNGSMETHODE

4.1. Probenentnahme

Im Rahmen der im Institut für Rechtsmedizin der Universität München durchgeführten Obduktionen wurden mit Hilfe eines Meißels Knochenfragmente von 5 - 10 g entnommen. Dabei wurde besonderer Wert darauf gelegt, für jeden Knochentyp jeweils möglichst ähnliche Proben zu gewinnen (ähnliche Größe, Form, Beschaffenheit, anatomische Lokalisation). Die Asservate wurden an-

schließlich mit einem scharfen Messer von Periost und anhaftendem Weichteilgewebe befreit und im starken Wasserstrahl gewaschen, um anhaftendes Fett bzw. Gewebsflüssigkeit zu entfernen. Es kamen ausschließlich saubere Werkzeuge aus nicht rostenden Materialien zur Anwendung. Die gereinigten Knochenfragmente wurden bis zur analytischen Weiterverarbeitung einzeln in Polystyroidöschen (Fa. Sarstedt, Nümbrecht) bei -20°C aufbewahrt.

4.2. Probenaufarbeitung

Im ersten Bearbeitungsschritt wurden die tiefgefrorenen Knochenstücke wieder aufgetaut und ihren Behältnissen entnommen. Unter Verwendung einer Kneifzange wurden die eigentlichen, zur Messung ihres Bleigehalts bestimmten Knochenteilchen von 50 - 200 mg aus den Knochenstücken herausgeschnitten und genau abgewogen (Mettler Analysenwaage). Die ausgewogenen Proben wurden in Zentrifugengläser (Fa. Assistent) eingebracht, mit 500 µl konzentrierter Salpetersäure (mind. 65%, Reinheitsgrad: Suprapur, Nr. 441, Fa. E. Merck, Darmstadt) versetzt und abgedeckt für ca. 48 Stunden bei Raumtemperatur stehengelassen. Nach dieser Zeit hatten sich alle festen Knochenbestandteile vollständig aufgelöst. Die Aufschlußlösungen wurden schließlich im Verhältnis 1:20 mit entionisiertem Wasser verdünnt.

4.3. Quantitative Bleibestimmung

Die Untersuchung der Proben wurde mittels flammenloser Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) unter den in Tab. 4 angegebenen Bedingungen durchgeführt*.

Die AAS ist eine quantitative Analysentechnik von hoher Empfindlichkeit und Selektivität (Welz, 1983). Ihre Vorteile - schnelle und einfache Arbeitsweise, Wirtschaftlichkeit und Genauigkeit - haben sie zu einer der gebräuchlichsten Techniken zur Analyse von Spurenelementen werden lassen (Lindh, 1980 b).

* Anm.: Ein Teil der Werte wurde mit einem PE 3030 mit Deuteriumkompensation gemessen. Da hierbei Störungen der Matrix nicht in dem Maße auszuschließen waren wie bei Zeeman-Kompensation, wurde bei Deuterium-Kompensation nach dem Verfahren der Standard-Addition gemessen.

Tabelle 4: Meßbedingungen der AAS.

Geräte:	Perkin Elmer - AAS 3030 Zeeman - HGA 600 Autosampler - Printer PR 100		
Küvette:	unbeschichtetes Graphitrohr		
Wellenlänge:	283,3 nm		
Spaltbreite:	0,7 nm		
Schutzgas:	Stickstoff	Rampe	Halten
Temperaturprogramm:	1. Trocknen:	120° C	20 s
	2. Veraschen:	500° C	20 s
	3. Atomisieren:	2400° C	1 s
	(unter Gasstop)		3 s
	4. Nachglühen:	2700° C	1 s
			5 s
Injektionsvolumen:	20 µl		
Nachweisgrenze:	absolut ca. 0,1 ng Blei/Injektion (= dreifaches Rauschen; Kaiser, 1965)		
Präzision:	~ 2% (Doppelbestimmung).		

Die Methode der AAS fußt auf dem folgenden physikalischen Prinzip:

Die Atome eines Elements sind in der Lage, die Energie bestimmter, für das Element spezifischer Wellenlängen zu absorbieren. Die auf diese Weise "angeregten" Atome geben die aufgenommene Energie nach etwa 10^{-8} Sekunden als sog. Resonanzfluoreszenz wieder ab (Welz, 1983).

Angewendet auf unsere Messungen bedeutet das: Eine Hohlkathodenlampe emittiert das Spektrum des zu bestimmenden Elements Blei. Diese Strahlung tritt durch eine die Probe enthaltende Graphitrohrküvette und trifft auf einen hinter der Küvette angebrachten Detektor. Im Gegensatz zum Licht der Hohlkathodenlampe, welches ausschließlich in Richtung auf den Detektor ausgesendet wird, emittieren die angeregten Bleiatome in der Probe die Lichtenergie in jede beliebige Richtung. Auf Grund dessen registriert der Detektor eine Schwächung der Strahlungsstärke, die der Bleikonzentration in der Probe proportional ist (Lambert-Beer-Gesetz).

Der zur Messung einer Probe im Graphitrohr ablaufende Aufheizvorgang läßt sich in vier Abschnitte unterteilen. Während die erste Phase, das "Trocknen" (= Verdampfen des Lösungsmittels) und die zweite Phase, das "Veraschen" organischer Materialien dazu dienen, störende Begleitsubstanzen zu entfer-

nen, wird in der dritten Phase, die durch eine schnelle Temperaturerhöhung gekennzeichnet ist, eine Dissoziation der Bleiatome mit Ausbildung einer Atomwolke erreicht (Welz, 1983). Nach Beendigung dieser Meßphase erfolgt im Nachglühvorgang die Beseitigung aller Probenreste. Nach dem Wiederabkühlen des Graphitrohres kann sich der nächste Meßvorgang anschließen.

Tabelle 5: Kalibrierung des Meßgerätes mittels Eichlösungen.

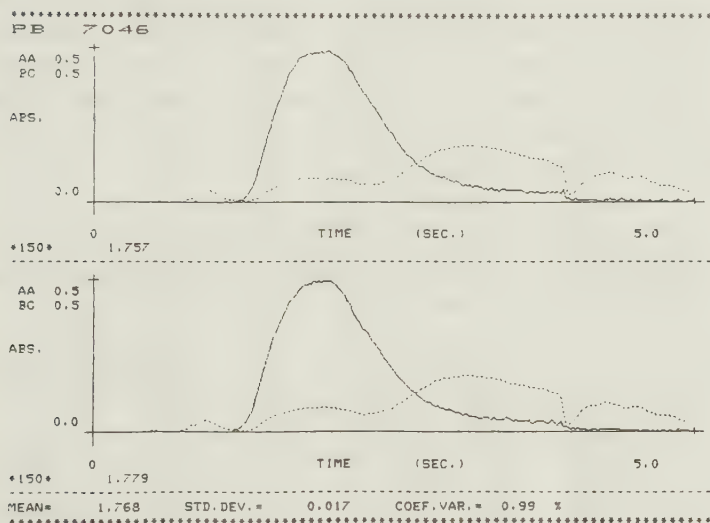
- Standard 1: Blindwert: 1 μl HNO_3 conc. in 20 μl Injektionslösung;
- Standard 2: 0,2 ng Blei/ 20 μl Injektionslösung;
- Standard 3: 1,0 ng Blei/ 20 μl Injektionslösung;
- Standard 4: 2,0 ng Blei/ 20 μl Injektionslösung.

Herstellung der Eichlösungen:

- Standard 1: 50 μl HNO_3 conc. (Suprapur, Fa. E. Merck, Darmstadt) ad 1000 μl Aqua dest.;
- Standard 4: 500 μl HNO_3 conc. + 100 μl Pb-Stammlösung von 10 $\mu\text{g}/\text{ml}$ ad 10 ml Aqua dest.;
- Standard 3: Verdünnung von Standard 4 mit Aqua dest. im Verhältnis 1:1;
- Standard 2: Verdünnung von Standard 4 mit Aqua dest. im Verhältnis 1:9.

Zur Kalibrierung des Meßgerätes wurden 4 Eichlösungen bereitet, die unter Verwendung der gleichen Gefäße und Reagenzien wie die Proben zur Messung gelangten (s. Tab. 5). Die Zulässigkeit der externen Kalibrierung wurde durch 20 Kontrollmessungen mit der Methode der Standardaddition bestätigt (Korrelationskoeffizient 0,98; Drasch, persönliche Mitteilung). Zum Zwecke der Nachkalibrierung wurden nach jeweils 12 Einzelmessungen die Standards 1 und 4 erneut bestimmt.

Abbildung 2: Beispiel einer Probenmessung (Felsenbein). 2 Einzelmessungen mit dazugehörigen Absorptionsdiagrammen, Mittelwertberechnung, Standardabweichung und Variationskoeffizient.



Für jede der Proben wurden zwei Einzelbestimmungen durchgeführt (s. Abb. 2); die gemessenen Bleiwerte wurden gemittelt. Hierbei betrug der mittlere Variationskoeffizient 2%. Schließlich wurde der für 20 μ l Injektionslösung gültige Meßwert einer Probe auf 1 kg des jeweiligen Knochens umgerechnet.

5. ERGEBNISSE

In Tabelle 6 sind die 240 Sektionsfälle, bei denen Knochenproben entnommen wurden, nach fortlaufenden Sektionsnummern aufgelistet. Pro Sektionsfall werden jeweils das erreichte Lebensalter in Jahren, das Geschlecht und der letzte Wohnort (Stadt oder Land, vgl. 3.) des Verstorbenen sowie die gemessenen Bleikonzentrationen (in mg/kg Knochen, Feuchtgewicht) von Beckenkamm, Femurschaft und Felsenbein angegeben.

Tabelle 6: Auflistung der untersuchten Sektionsfälle nach fortlaufenden Sektionsnummern. Jeweils Angaben zu Alter, Geschlecht und letztem Wohnort (Stadt/Land) des Verstorbenen sowie Einzelwerte der Bleikonzentration in Beckenkamm, Femurschaft und Felsenbein.

Lfd. Nr.	Sektionsnummer	Alter	Geschlecht	Wohnort	Becken- kamm	Femur- schaft	Felsen- bein
1	1853/83	34	männlich	Stadt	0,80	2,39	2,83
2	1896/83	44	weiblich	Stadt	4,71	5,73	8,27
3	1900/83	73	männlich	Stadt	1,53	6,76	7,57
4	1903/83	72	weiblich	Stadt	1,25	3,13	16,52
5	1990/83	71	männlich	Stadt	2,64	7,98	18,32
6	1996/83	67	männlich	Stadt	3,46	14,32	35,22
7	2073/83	70	männlich	Stadt	3,45	11,52	14,44
8	2076/83	25	männlich	Stadt	1,11	2,04	6,12
9	2078/83	66	männlich	Stadt	1,46	6,84	7,81
10	211/84	31	männlich	Stadt	1,56	4,40	7,68
11	260/84	57	männlich	Stadt	4,78	7,55	13,38
12	263/84	37	männlich	Stadt	1,11	2,64	1,86
13	267/84	54	weiblich	Stadt	3,56	6,60	11,17
14	279/84	30	weiblich	Stadt	1,38	3,45	2,87
15	288/84	38	männlich	Stadt	4,35	5,57	4,69
16	290/84	43	männlich	Stadt	0,91	2,12	3,20
17	293/84	31	männlich	Stadt	0,88	0,78	1,86
18	295/84	33	männlich	Stadt	2,13	3,44	3,94
19	306/84	29	männlich	Stadt	2,15	3,72	3,11
20	324/84	44	männlich	Stadt	1,60	3,29	6,61
21	348/84	58	männlich	Stadt	2,18	6,05	7,67
22	353/84	64	weiblich	Stadt	2,40	4,70	13,05
23	354/84	70	männlich	Stadt	1,75	4,11	5,85
24	358/84	52	männlich	Land	3,60	7,84	5,86
25	394/84	74	männlich	Stadt	2,01	5,46	10,99
26	395/84	36	männlich	Land	2,40	3,95	3,84
27	396/84	44	weiblich	Land	1,99	4,02	3,60
28	400/84	49	weiblich	Stadt	7,69	7,44	4,95
29	405/84	24	männlich	Land	1,05	1,55	1,12
30	406/84	23	männlich	Stadt	0,80	1,79	2,83
31	408/84	34	weiblich	Land	1,63	3,50	3,54
32	412/84	48	weiblich	Stadt	2,67	2,40	8,75

Lfd. Nr.	Sektions- nummer	Alter	Geschlecht	Wohnort	Becken- kamm	Femur- schaft	Felsen- bein
33	415/84	48	weiblich	Stadt	1,14	2,33	3,55
34	416/84	43	männlich	Stadt	10,16	11,01	5,59
35	417/84	57	männlich	Stadt	4,53	14,07	13,94
36	419/84	54	männlich	Land	3,92	6,64	5,37
37	420/84	52	männlich	Land	3,21	13,24	5,14
38	421/84	44	männlich	Land	3,45	14,56	13,33
39	422/84	75	männlich	Stadt	2,91	4,49	11,45
40	425/84	38	männlich	Stadt	4,81	4,28	1,97
41	426/84	42	weiblich	Land	2,93	5,14	4,24
42	427/84	65	weiblich	Land	1,90	3,45	3,40
43	429/84	54	männlich	Land	3,80	6,98	9,75
44	431/84	62	weiblich	Land	2,22	3,68	5,85
45	434/84	53	weiblich	Land	2,35	5,05	5,09
46	435/84	38	männlich	Land	2,47	5,43	5,88
47	436/84	45	weiblich	Stadt	2,17	2,63	3,02
48	441/84	78	weiblich	Stadt	1,17	5,57	7,05
49	444/84	77	weiblich	Stadt	4,10	4,58	6,89
50	449/84	71	weiblich	Land	1,45	4,61	11,29
51	450/84	59	männlich	Land	1,74	6,16	11,79
52	451/84	72	weiblich	Land	2,83	6,19	5,20
53	452/84	79	weiblich	Stadt	4,17	7,49	24,96
54	455/84	47	männlich	Stadt	0,72	5,02	3,33
55	456/84	52	weiblich	Stadt	1,27	2,98	4,19
56	459/84	62	männlich	Stadt	3,24	7,64	8,48
57	462/84	23	männlich	Stadt	2,55	4,10	3,50
58	463/84	39	weiblich	Stadt	3,59	4,80	3,41
59	464/84	63	männlich	Land	6,60	15,06	9,64
60	465/84	65	männlich	Stadt	3,28	10,76	7,01
61	466/84	57	männlich	Land	4,47	8,71	13,05
62	467/84	62	männlich	Land	2,25	6,47	16,71
63	470/84	39	männlich	Land	2,90	2,08	2,40
64	473/84	34	männlich	Land	1,88	4,95	4,18
65	474/84	76	weiblich	Stadt	1,43	6,39	6,01
66	475/84	75	weiblich	Stadt	1,78	5,16	17,60
67	477/84	23	männlich	Stadt	1,01	3,21	0,95
68	478/84	41	männlich	Land	9,93	20,05	9,92
69	480/84	55	männlich	Land	3,17	3,48	4,29
70	481/84	62	männlich	Stadt	5,97	9,19	11,17
71	482/84	43	männlich	Stadt	3,72	8,51	7,60
72	483/84	39	männlich	Land	3,74	4,00	3,84
73	484/84	39	männlich	Stadt	1,73	1,48	2,50
74	485/84	81	männlich	Stadt	3,74	3,74	9,95
75	488/84	57	männlich	Land	1,46	5,02	8,26
76	491/84	31	männlich	Stadt	2,38	5,93	11,19
77	500/84	42	männlich	Land	2,89	4,32	5,29
78	501/84	48	männlich	Stadt	0,57	3,28	5,33
79	502/84	69	weiblich	Land	1,32	5,75	14,01
80	503/84	54	weiblich	Land	0,99	2,48	7,35
81	504/84	62	weiblich	Land	1,85	3,30	13,86
82	505/84	71	männlich	Land	5,30	6,44	13,55
83	508/84	76	weiblich	Stadt	0,88	2,14	12,30
84	509/84	47	männlich	Stadt	4,51	8,10	9,36

Lfd. Nr.	Sektions- nummer	Alter	Geschlecht	Wohnort	Becken- kamm	Femur- schaft	Felsen- bein
85	510/84	47	männlich	Land	3,53	3,88	7,54
86	511/84	44	männlich	Stadt	1,24	2,83	2,94
87	516/84	74	weiblich	Stadt	1,10	2,69	10,99
88	517/84	48	männlich	Land	1,35	2,67	3,37
89	518/84	62	männlich	Land	2,20	7,10	6,14
90	520/84	47	männlich	Land	2,30	3,45	8,42
91	522/84	24	männlich	Stadt	0,61	2,64	3,66
92	523/84	75	weiblich	Land	1,36	2,91	5,42
93	524/84	22	weiblich	Stadt	0,47	1,15	1,87
94	530/84	64	männlich	Stadt	1,14	4,17	5,09
95	532/84	48	männlich	Land	2,24	9,66	8,57
96	533/84	41	weiblich	Stadt	1,22	1,37	3,54
97	535/84	56	männlich	Land	4,52	3,89	6,84
98	536/84	51	männlich	Stadt	2,81	4,23	5,81
99	538/84	48	männlich	Stadt	0,57	5,63	5,39
100	542/84	57	männlich	Land	2,78	5,39	5,16
101	551/84	39	männlich	Land	2,57	5,27	5,32
102	552/84	22	weiblich	Land	0,75	1,68	2,95
103	556/84	62	weiblich	Stadt	1,68	3,98	5,26
104	557/84	55	männlich	Stadt	3,89	7,59	10,64
105	560/84	68	männlich	Stadt	2,62	8,69	12,39
106	564/84	56	männlich	Stadt	6,03	7,89	2,35
107	565/84	53	weiblich	Land	2,26	4,06	7,38
108	567/84	47	männlich	Land	1,77	16,35	14,41
109	568/84	74	männlich	Land	3,61	7,00	10,10
110	570/84	63	männlich	Land	2,10	6,82	12,19
111	571/84	24	männlich	Stadt	0,50	0,99	0,97
112	572/84	79	männlich	Stadt	1,41	5,73	14,16
113	574/84	79	männlich	Land	1,68	6,86	11,17
114	575/84	45	männlich	Land	2,94	8,99	4,97
115	576/84	23	männlich	Land	0,82	1,53	3,78
116	578/84	44	männlich	Land	1,75	7,29	7,80
117	584/84	44	weiblich	Land	1,79	2,52	3,02
118	585/84	49	weiblich	Land	6,93	5,18	6,05
119	589/84	49	weiblich	Land	1,44	3,29	2,45
120	593/84	41	weiblich	Stadt	2,46	3,76	5,02
121	594/84	62	männlich	Stadt	4,09	6,80	13,21
122	602/84	59	weiblich	Stadt	4,08	3,79	6,55
123	603/84	52	weiblich	Stadt	7,20	6,31	6,05
124	604/84	26	männlich	Stadt	1,29	2,91	4,12
125	605/84	80	männlich	Stadt	2,24	6,26	12,10
126	607/84	61	weiblich	Stadt	0,64	7,48	14,89
127	608/84	35	männlich	Land	0,97	3,78	5,81
128	610/84	54	weiblich	Stadt	4,35	5,28	12,20
129	613/84	27	männlich	Land	1,16	2,25	3,17
130	619/84	32	männlich	Land	2,29	5,49	5,33
131	622/84	34	weiblich	Stadt	3,00	5,84	7,68
132	653/84	51	weiblich	Land	0,88	3,38	8,52
133	654/84	24	männlich	Land	1,03	2,11	3,29
134	681/84	20	männlich	Land	0,72	1,90	3,80
135	687/84	59	weiblich	Land	1,51	3,17	6,29
136	689/84	39	weiblich	Land	1,82	2,93	2,86

Lfd. Nr.	Sektions- nummer	Alter	Geschlecht	Wohnort	Becken- kamm	Femur- schaft	Felsen- bein
137	690/84	63	weiblich	Land	1,78	3,51	4,55
138	707/84	63	weiblich	Land	1,21	2,63	3,03
139	708/84	78	weiblich	Land	1,22	4,36	9,70
140	709/84	20	weiblich	Stadt	0,79	1,50	1,83
141	712/84	33	weiblich	Stadt	1,39	3,31	7,83
142	713/84	58	weiblich	Stadt	2,29	4,91	6,04
143	733/84	69	weiblich	Land	1,00	5,69	11,70
144	739/84	79	weiblich	Land	0,82	1,78	3,05
145	747/84	67	weiblich	Stadt	1,20	2,98	6,28
146	751/84	72	männlich	Land	4,13	10,92	9,33
147	754/84	44	weiblich	Land	1,62	4,57	8,34
148	755/84	26	weiblich	Land	0,57	1,04	3,19
149	756/84	33	weiblich	Stadt	1,78	3,85	4,68
150	757/84	32	männlich	Land	1,11	3,11	4,02
151	759/84	39	weiblich	Land	1,68	5,48	4,36
152	760/84	26	männlich	Land	1,70	2,98	3,61
153	778/84	21	männlich	Land	0,67	0,78	3,03
154	782/84	78	weiblich	Land	1,03	5,36	12,95
155	800/84	74	männlich	Land	0,59	3,87	5,23
156	809/84	81	männlich	Land	1,77	2,55	6,27
157	832/84	27	weiblich	Stadt	0,63	1,97	2,69
158	844/84	28	männlich	Land	0,64	2,70	2,57
159	846/84	75	männlich	Land	1,81	2,14	16,10
160	855/84	78	weiblich	Land	0,88	2,84	22,81
161	856/84	66	männlich	Land	2,08	9,48	20,10
162	857/84	67	weiblich	Land	0,45	1,42	5,52
163	858/84	32	weiblich	Land	0,58	2,32	4,31
164	869/84	82	männlich	Land	0,58	3,81	18,00
165	871/84	27	männlich	Land	0,40	1,49	1,77
166	873/84	82	männlich	Land	1,26	7,22	19,60
167	874/84	62	weiblich	Stadt	0,79	2,12	2,27
168	875/84	61	weiblich	Land	1,96	2,92	4,47
169	887/84	77	männlich	Stadt	2,42	5,00	10,21
170	896/84	51	weiblich	Land	1,47	2,65	3,61
171	898/84	76	weiblich	Land	1,01	3,31	3,35
172	899/84	52	männlich	Stadt	1,25	4,25	4,98
173	900/84	39	weiblich	Stadt	1,19	4,79	3,69
174	901/84	67	männlich	Stadt	4,19	9,71	8,65
175	902/84	41	weiblich	Stadt	1,44	2,77	2,83
176	907/84	66	weiblich	Stadt	1,32	3,17	4,63
177	911/84	75	weiblich	Land	0,57	1,99	10,35
178	913/84	63	weiblich	Stadt	0,85	3,35	7,63
179	935/84	42	weiblich	Stadt	1,06	3,14	3,58
180	936/84	27	weiblich	Stadt	0,68	1,44	3,62
181	942/84	26	männlich	Land	1,12	2,55	3,61
182	948/84	20	weiblich	Land	0,40	1,49	3,07
183	957/84	25	männlich	Stadt	0,83	2,25	3,02
184	962/84	66	männlich	Land	1,97	7,52	8,68
185	964/84	63	männlich	Land	1,20	3,46	4,40
186	970/84	53	männlich	Stadt	0,81	3,51	6,27
187	975/84	54	weiblich	Stadt	1,11	2,53	4,38
188	994/84	59	männlich	Stadt	1,18	4,75	7,12

Lfd. Nr.	Sektions- nummer	Alter	Geschlecht	Wohnort	Becken- kamm	Femur- schaft	Felsen- bein
189	995/84	58	weiblich	Stadt	1,87	2,72	8,02
190	1006/84	30	weiblich	Land	0,92	1,61	1,84
191	1007/84	46	weiblich	Land	1,60	3,86	6,67
192	1017/84	56	weiblich	Stadt	2,88	3,86	3,96
193	1033/84	29	weiblich	Stadt	0,60	1,86	2,23
194	1038/84	69	weiblich	Land	1,22	2,40	4,21
195	1039/84	32	männlich	Land	1,78	3,16	2,84
196	1041/84	29	weiblich	Land	0,46	1,29	1,35
197	1046/84	32	weiblich	Land	0,33	1,10	3,26
198	1050/84	28	weiblich	Land	0,26	0,84	1,44
199	1085/84	50	männlich	Stadt	1,64	8,72	10,94
200	1101/84	28	männlich	Stadt	0,72	2,72	2,63
201	1102/84	69	männlich	Land	2,60	4,76	15,43
202	1110/84	69	weiblich	Stadt	2,18	4,87	4,65
203	1111/84	68	weiblich	Stadt	4,02	7,31	8,68
204	1114/84	39	weiblich	Land	1,24	2,78	5,85
205	1212/84	49	weiblich	Stadt	2,33	3,71	5,75
206	1213/84	59	weiblich	Land	1,69	4,57	11,33
207	1217/84	23	weiblich	Stadt	0,75	1,37	1,61
208	1237/84	70	weiblich	Stadt	2,53	8,04	8,16
209	1238/84	22	weiblich	Land	1,20	1,65	2,63
210	1247/84	29	weiblich	Land	2,26	4,41	4,65
211	1256/84	69	weiblich	Stadt	1,17	3,20	17,80
212	1276/84	36	weiblich	Stadt	1,14	3,24	4,11
213	1296/84	59	weiblich	Land	1,76	3,29	3,93
214	1297/84	69	männlich	Land	2,92	6,58	7,38
215	1518/84	38	weiblich	Stadt	2,03	5,25	12,15
216	1523/84	43	weiblich	Land	1,91	5,33	4,02
217	1532/84	45	weiblich	Land	1,35	2,28	2,98
218	1539/84	71	weiblich	Stadt	1,24	3,96	2,69
219	1540/84	55	weiblich	Land	1,15	2,98	6,97
220	1548/84	20	weiblich	Land	0,78	0,94	1,52
221	1558/84	35	weiblich	Land	1,01	2,12	2,70
222	1562/84	35	weiblich	Stadt	0,93	2,47	2,91
223	1571/84	29	weiblich	Land	1,39	2,60	2,92
224	1577/84	85	männlich	Land	2,65	8,39	15,56
225	1594/84	55	weiblich	Stadt	0,87	2,00	3,78
226	1830/84	48	weiblich	Land	1,98	4,08	10,09
227	1833/84	57	weiblich	Land	1,00	4,37	4,61
228	1838/84	73	weiblich	Land	0,73	2,15	7,22
229	1846/84	24	weiblich	Land	0,63	1,39	1,72
230	1852/84	29	weiblich	Stadt	0,61	3,39	2,78
231	1887/84	26	weiblich	Stadt	0,89	1,65	2,38
232	1904/84	32	weiblich	Land	1,17	3,01	5,74
233	1952/84	21	weiblich	Stadt	0,92	2,21	2,55
234	1997/84	37	weiblich	Land	7,21	5,91	5,99
235	2069/84	20	weiblich	Stadt	0,68	1,17	1,46
236	2112/84	36	weiblich	Stadt	3,37	5,63	5,39
237	61/85	66	männlich	Land	2,37	7,11	12,93
238	184/85	64	männlich	Stadt	0,75	3,76	10,39
239	194/85	45	männlich	Stadt	2,61	7,87	6,24
240	320/85	35	männlich	Stadt	1,98	4,66	11,22

6. DISKUSSION

6.1. Eigene Messungen*

6.1.1. Variation der Bleikonzentration innerhalb der Knochen

Wie Ulrich (1978) feststellt, können an verschiedenen Stellen eines Knochens unterschiedliche Werte der Bleikonzentration gefunden werden. Um den Einfluß dieses Faktors auf unsere Ergebnisse ermessen zu können, haben wir in einem zufällig ausgewählten Fall (Sektionsnummer 1532/84: weiblich, Land, 45 Jahre) zusätzliche Messungen vorgenommen.

Neben der "regulären", d.h. der bei allen 240 Erwachsenen in gleicher Weise durchgeführten Bestimmung der Bleikonzentration in jeweils einer Probe von Beckenkamm, Femurschaft und Felsenbein (vgl. 4.2.) wurden bei Sektionsnummer 1532/84 pro Knochentyp noch 5 weitere Proben untersucht (Meßreihen A-E). Das Ergebnis dieser Meßreihen zusammen mit den regulären Meßwerten zeigt Tabelle 7.

Tabelle 7: Bleikonzentration (mg/kg Feuchtgewicht) in Beckenkamm, Femurschaft und Felsenbein bei Sektionsnummer 1532/84. Eine reguläre ("R") sowie 5 zusätzliche (A - E) Meßreihen zur Bestimmung der Bleikonzentration an verschiedenen Punkten im Knochen.

$\bar{x}$ = arithmetischer Mittelwert aus "R" und A - E (n=6);

* = durchschnittliche Abweichung der Einzelwerte von $\bar{x}$ in Prozent.

Knochentyp	"R"	A	B	C	D	E	$\bar{x}$	*
Beckenkamm	1,35	1,57	1,35	1,53	1,23	1,39	1,40	6,9%
Femurschaft	2,28	1,97	2,07	2,38	2,00	1,94	2,11	7,1%
Felsenbein	2,98	2,40	2,58	3,15	2,49	2,38	2,66	10,0%

-
- * - Die angeführten Bleikonzentrationen (mg Pb/kg Knochen) beziehen sich stets auf das Feuchtgewicht der Knochen;
- die Mittelwerte der Bleikonzentration sind - sofern nicht anders angegeben - geometrische Mittelwerte;
- einige der Graphiken enthalten auch Daten der Dissertation von J. Ott (in Bearb.), der in Ergänzung zu dieser Arbeit die Knochenbleikonzentration von Kindern im südbayerischen Raum untersucht;
- als statistisch signifikant wurde ein p-Wert von $<0,05$ erachtet.

Es wird ersichtlich, daß die regulären Meßwerte durchwegs im Streuungsbereich der Meßreihen A-E liegen. Der Streuungsbereich der Meßwerte nimmt mit steigender Bleikonzentration eines Knochens zu, so daß die verschiedenen Teile des Felsenbeins mit einer maximalen Differenz der Konzentrationswerte von 0,77 ppm die größte Streuungsbreite aufweisen. Im Durchschnitt streuen die Einzelwerte der Meßreihen A-E und "R" beim Beckenkamm 6,9%, beim Femurschaft 7,1% und beim Felsenbein 10,0% um den jeweiligen Mittelwert $\bar{x}$. Daraus ergibt sich für die 3 Knochen insgesamt eine durchschnittliche prozentuale Streuungsbreite von 8,0%. In keiner der Meßreihen kommt es zu einem Abweichen von der in 6.1.2. demonstrierten Abhängigkeit vom Knochentyp.

6.1.2. Abhängigkeit vom Knochentyp

Die relativen Häufigkeiten der gemessenen Bleikonzentrationen im Untersuchungsgut werden veranschaulicht durch die Abbildungen 3 (= Beckenkamm), 4 (= Femurschaft) und 5 (= Felsenbein).

Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung der Bleikonzentrationen (ppm-Feuchtgewicht) im Beckenkamm. Gesamtes Untersuchungsgut, Anzahl n = 240.

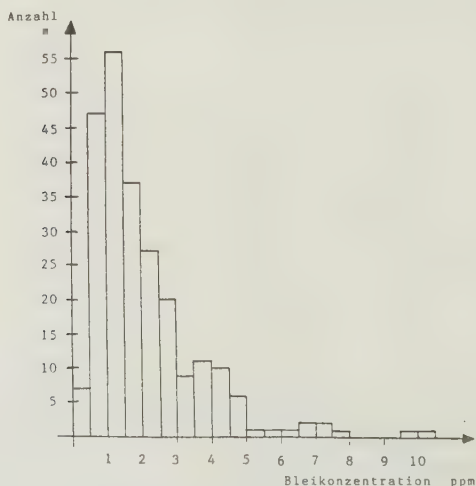


Abbildung 4: Häufigkeitsverteilung der Bleikonzentrationen (ppm-Feuchtgewicht) im Femurschaft. Gesamtes Untersuchungsgut, Anzahl n= 240.

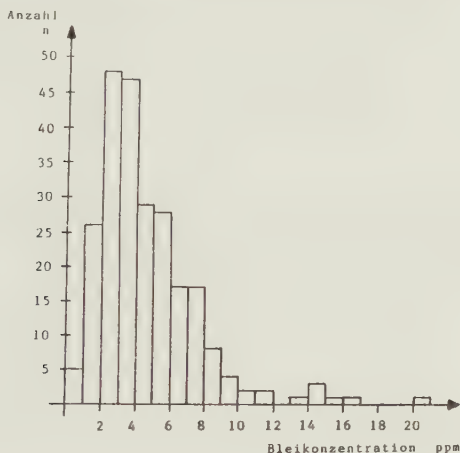
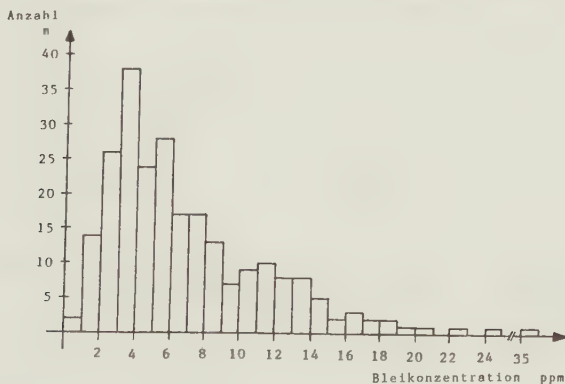


Abbildung 5: Häufigkeitsverteilung der Bleikonzentrationen (ppm-Feuchtgewicht) im Felsenbein. Gesamtes Untersuchungsgut, Anzahl n= 240.



Man erkennt, daß bei allen 3 Knochentypen eine rechtsschiefe Häufigkeitsverteilung vorliegt: das Häufigkeitsmaximum befindet sich in einem Bereich eher niedriger Konzentrationen, davon ausgehend sind die höheren

gegenüber den niedrigeren Konzentrationswerten deutlich überrepräsentiert, so daß der Median vom Häufigkeitsmaximum in Richtung auf höhere Konzentrationen verschoben ist. Da nach Logarithmierung der Konzentrationswerte eine fast ideale Gauß-Verteilung resultiert (vgl. Tab. 8), wurden für alle statistischen Vergleiche geometrische Mittelwerte gewählt.

Tabelle 8: Knochenbleikonzentrationen (mg/kg Feuchtgewicht): Übereinstimmung von geometrischem Mittelwert und Medianwert bei den drei untersuchten Knochentypen. Vergleich mit den entsprechenden arithmetischen Mittelwerten. Gesamtes Untersuchungsgut: Anzahl n=240.

Knochentyp	n	geometrischer Mittelwert	Median	arithmetischer Mittelwert
Beckenkamm	240	1,65	1,68	2,08
Femurschaft	240	3,86	3,87	4,62
Felsenbein	240	5,59	5,52	6,92

Die Mittelwerte der Bleikonzentration in den 3 untersuchten Knochentypen (s. Tab. 9) lassen deutlich werden, daß die kompaktareichen Knochen Felsenbein (5,59 ppm) und Femurschaft (3,86 ppm) einen signifikant höheren Bleigehalt aufweisen als der spongiosareiche Beckenkamm (1,65 ppm; p in beiden Fällen $< 10^{-8}$). Daneben zeigen die Ergebnisse, daß in der Gruppe der vorwiegend kompaktahaltigen Knochen das Felsenbein in besonderem

Tabelle 9: Abhängigkeit der Bleikonzentration (mg/kg Feuchtgewicht) vom Knochentyp. Anzahl n, geometrische Mittelwerte, delog. Signifikanzschränken, log. Standardabweichung und Spannweite.

Knochentyp	n	$\bar{x}$	$\bar{x}-1s$	$\bar{x}+1s$	$\log_s$	Spannweite
Beckenkamm	240	1,65	0,86	3,20	0,2863	0,26 - 10,16
Femurschaft	240	3,86	2,19	6,81	0,2465	0,78 - 20,05
Felsenbein	240	5,59	2,91	10,75	0,2842	0,95 - 35,22

Maße fähig ist, Blei zu speichern, so daß sich für diesen Knochentyp gegenüber dem Röhrenknochen Femur signifikant höhere Konzentrationswerte ergeben ($p = 1,5 \times 10^{-6}$).

Auf der Basis der Ergebnisse aller Erwachsener verhalten sich die Bleikonzentrationen von Felsenbein, Femurschaft und Beckenkamm zueinander wie 3,4 : 2,3 : 1.

6.1.3. Abhängigkeit vom Geschlecht

Der Vergleich der mittleren Knochenbleikonzentrationen ergibt bei allen 3 untersuchten Knochentypen, daß Knochen von Männern signifikant mehr Blei speichern als Knochen von Frauen (Tab. 10). Im Mittel enthält bei Männern der Beckenkamm 38,3%, der Femurschaft 51,3% und das Felsenbein 24,8% mehr Blei als bei Frauen.

Tabelle 10: Abhängigkeit der Bleikonzentration (mg/kg Feuchtgewicht) vom Geschlecht. Anzahl n, geometrische Mittelwerte, delog. Signifikanzschranken, log. Standardabweichung und Signifikanzniveau p.

Knochen/Geschlecht	n	$\bar{x}$	$\bar{x}-1s$	$\bar{x}+1s$	$\log_s$	p
<u>Beckenkamm</u>						
männlich	120	1,95	1,00	3,80	0,2910	$4,0 \times 10^{-4}$
weiblich	120	1,41	0,74	2,69	0,2815	
<u>Femurschaft</u>						
männlich	120	4,75	2,53	8,92	0,2735	$6,7 \times 10^{-6}$
weiblich	120	3,14	1,89	5,20	0,2194	
<u>Felsenbein</u>						
männlich	120	6,24	3,17	12,29	0,2943	$9,1 \times 10^{-3}$
weiblich	120	5,00	2,66	9,40	0,2740	

Die Vermutung liegt nahe, daß die Geschlechtsabhängigkeit der Knochenbleikonzentration in erster Linie auf biologische Ursachen zurückzuführen ist, wie z.B. auf den Bleitransfer von der Mutter diaplazentar auf

den Fetus bzw. mit der Milch auf den Säugling (Lehnert, 1983); auf eine hormonelle Beeinflussung des Bleistoffwechsels (Moore, 1979); auf den geringeren Nahrungsbedarf der Frauen mit entsprechend geringeren zugeführten Bleimengen (Barry, 1975). Daneben spielt wahrscheinlich auch das unterschiedliche Berufsspektrum eine Rolle, wobei die bleiexponierten Tätigkeiten zum überwiegenden Teil von Männern ausgeübt werden dürften (Exposition im Straßenverkehr, in der Industrie etc.).

6.1.4. Abhängigkeit vom Lebensbereich

Die mittleren Bleikonzentrationen von Knochen der Stadtbevölkerung (Großstadt München) liegen bei keinem Knochentyp signifikant über denen der Landbevölkerung (übriges Südbayern) (Tab. 11). Dabei ist eine Beeinflussung dieser Ergebnisse durch die in 6.1.3. dargelegte Abhängigkeit vom Geschlecht ausgeschlossen, weil die beiden Kollektive "Stadt" und "Land" jeweils ebensoviele Männer wie Frauen umfassen (vgl. Tab. 1).

Tabelle 11: Abhängigkeit der Bleikonzentration (mg/kg Feuchtgewicht) vom Lebensbereich. Anzahl n, geometrische Mittelwerte, delog Signifikanzschranken, log. Standardabweichung und Signifikanzniveau p.

Knochen/L'bereich	n	$\bar{x}$	$\bar{x}-1s$	$\bar{x}+1s$	$\log_s$	p
<u>Beckenkamm</u>						
Stadt	120	1,72	0,86	3,41	0,2970	0,6
Land	120	1,59	0,85	2,98	0,2726	
<u>Femurschaft</u>						
Stadt	120	3,99	2,29	6,96	0,2416	0,6
Land	120	3,74	2,10	6,66	0,2505	
<u>Felsenbein</u>						
Stadt	120	5,61	2,82	11,16	0,2989	0,9
Land	120	5,57	2,99	10,36	0,2698	

Aufgrund der Heterogenität der Landbevölkerung – wie oben bereits erwähnt, umfaßt der Bereich "Land" in unserer Untersuchung nicht nur ländliche Gebiete, sondern auch kleinere und mittelgroße Städte des südbayerischen Raumes – wurde versucht, anhand von Angaben über Geburtsort, letzten Wohnort und Beruf aus den Sektionsprotokollen eine Teilpopulation "Echt-Land" herauszufiltern, die keinerlei Beziehung zu urbanen Bleiquellen vermuten läßt und bei der auch keine berufliche Bleibelastung anzunehmen ist.

Die gemittelten Bleikonzentrationen der Teilpopulation "Echt-Land" (10 Männer und 17 Frauen) sowie die Vergleichswerte für die gesamte Landbevölkerung (60 Männer und 60 Frauen) zeigt Tabelle 12.

Tabelle 12: Geometrische Mittelwerte der Bleikonzentration (mg/kg Feuchtgewicht) in Beckenkamm, Femurschaft und Felsenbein bei der Teilpopulation "Echt-Land" (Einzelheiten im Text) bzw. der gesamten Landbevölkerung.

Geschlecht	Knochentyp	"Echt-Land"	ges.Landbevölkerung
<u>männlich</u>	Beckenkamm	1,90 (n=10)	2,01 (n=60)
	Femurschaft	5,50 (n=10)	4,82 (n=60)
	Felsenbein	7,33 (n=10)	6,50 (n=60)
<u>weiblich</u>	Beckenkamm	1,30 (n=17)	1,26 (n=60)
	Femurschaft	2,70 (n=17)	2,91 (n=60)
	Felsenbein	4,49 (n=17)	4,77 (n=60)

Wie man ersehen kann, liegen die Bleikonzentrationen in den Knochen der Teilpopulation "Echt-Land" im gleichen Wertebereich wie die Bleikonzentrationen in den Knochen der Landbevölkerung insgesamt; bei den Männern weist die Teilpopulation "Echt-Land" sogar überwiegend höhere Bleikonzentrationen in den Knochen auf als die Gesamtheit der männlichen Landbewohner.

Die Belastung der Bewohner des flachen Landes (= Teilpopulation "Echt-Land") mit Blei entspricht demnach weitgehend der Belastung der Landbevölkerung insgesamt.

Die weitgehende Nivellierung des Bleigehalts in den Knochen der Stadt- bzw. Landbevölkerung (vgl. 6.2.1.) dürfte ihre Ursache darin haben, daß die Bleibelastung der Allgemeinbevölkerung überwiegend alimentär bedingt ist (Lehnert, 1983). Dieser bedeutende Beitrag zu der gesamten, vom Organismus aufgenommenen Bleimenge ist demzufolge für Stadt- und für Landbewohner gleich.

Darüber hinaus dürfte ein zunehmender Motorisierungsgrad auf dem Lande sowie der Bau höherer Fabrikschlote, die Bleiemissionen großflächiger verbreiten können, dazu geführt haben, daß die inhalative Bleibelastung der Bevölkerung in den ländlichen Gebieten zugenommen hat. Schließlich haben Untersuchungen gezeigt (Lawther, 1973, zit. nach Lehnert, 1983), daß Bleistaubpartikel in der Luft von Städten mit einem feinen Ruß- bzw. Ölfilm belegt sind, der die Resorption des Bleis in den Lungen erschwert. In die gleiche Richtung weist die Aussage von Gräf (1982), der im Zeitraum von 1971 bis 1977 eine Halbierung des Bleigehalts von Straßenstaub aus verkehrsreichen innerstädtischen Bezirken feststellen konnte, während in verkehrsärmeren Zonen, insbesondere auf Landstraßen, nur ein geringfügiger Rückgang des Bleigehalts im Straßenstaub zu verzeichnen war.

6.1.5. Abhängigkeit vom Lebensalter

Wie aus den Abbildungen 6 - 8 ersichtlich, ändern sich die Knochenbleikonzentrationen mit dem Lebensalter in unterschiedlicher Weise (Tab. 13).

Abbildung 6: Änderung der Bleikonzentration (mg/kg Feuchtgewicht) im Beckenkamm mit dem Lebensalter.

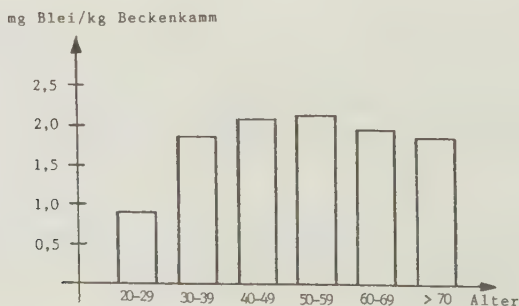


Abbildung 7: Änderung der Bleikonzentration (mg/kg Feuchtgewicht) im Femurschaft mit dem Lebensalter.

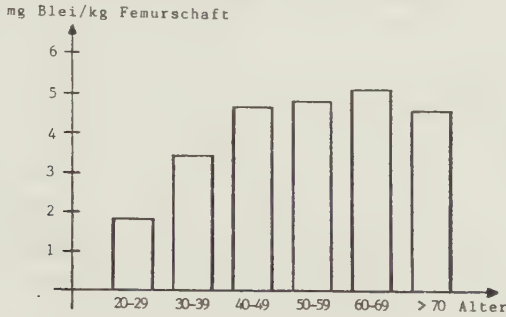
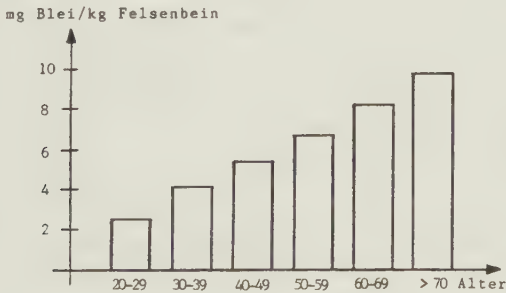


Abbildung 8: Änderung der Bleikonzentration (mg/kg Feuchtgewicht) im Felsenbein mit dem Lebensalter.



Die Bleikonzentration im Felsenbein steigt mit zunehmendem Lebensalter beständig an. Bei Femurschaft und Beckenkamm kommt es im mittleren Lebensabschnitt zunächst zur Stagnation und im höheren Alter zu einer Verminderung der Bleikonzentration. Das Maximum der Bleikonzentration im Beckenkamm wird zwischen dem 40. und dem 60. Lebensjahr, beim Femurschaft im 7. Lebensjahrzehnt erreicht.

Diese Befunde lassen einen Einfluß der Osteoporose des älteren Menschen auf den Bleihaushalt im Knochengewebe vermuten. Sie werden gestützt durch

Tabelle 13: Abhängigkeit der Bleikonzentration (mg/kg Feuchtgewicht) vom Lebensalter. Anzahl n, geometrische Mittelwerte, delog. Signifikanzschranken und log. Standardabweichung.

Knochentyp/ Altersklasse	n	$\bar{x}$	$\bar{x}-1s$	$\bar{x}+1s$	$\log_s$
<u>Beckenkamm</u>					
20 - 29	40	0,81	0,51	1,29	0,2003
30 - 39	40	1,70	0,94	3,07	0,2565
40 - 49	40	2,13	1,08	4,21	0,2954
50 - 59	40	2,25	1,27	3,98	0,2487
60 - 69	40	1,85	1,10	3,12	0,2272
> 70	40	1,67	0,96	2,92	0,2424
<u>Femurschaft</u>					
20 - 29	40	1,85	1,23	2,80	0,1796
30 - 39	40	3,42	2,12	5,53	0,2088
40 - 49	40	4,63	2,74	7,82	0,2279
50 - 59	40	4,80	3,34	6,89	0,1571
60 - 69	40	5,12	3,43	7,63	0,1736
> 70	40	4,61	2,95	7,20	0,1940
<u>Felsenbein</u>					
20 - 29	40	2,51	1,65	3,82	0,1823
30 - 39	40	4,18	2,56	6,81	0,2122
40 - 49	40	5,40	3,78	8,38	0,1910
50 - 59	40	6,66	4,38	10,11	0,1816
60 - 69	40	8,25	4,81	14,13	0,2340
> 70	40	9,81	5,92	16,25	0,2192

die Angaben von Eder und Gedigk (1977), die feststellen, daß die Involutionsosteoporose nicht das ganze Skelett in gleichem Maße (Felsenbein!) sondern vor allem die Wirbelsäule, Rippen- und Beckenknochen betrifft, mithin spongiöse Knochen.

Für das Phänomen abnehmender Knochenbleikonzentrationen im höheren Alter gibt es neben der Osteoporose auch andere Erklärungsversuche:

- Schroeder und Tipton (1968) sowie Jeanmaire (1976) sind der Ansicht, daß Individuen mit einer geringeren Bleimenge im Körper einen Selektionsvorteil gegenüber stärker Blei-kontaminierten Personen besitzen, der es ihnen ermöglicht, ein höheres Alter zu erreichen;
- Jeanmaire (1976) erwägt, daß eine geringere Bleiexposition des älteren Menschen, bedingt durch die gegenüber früheren Lebensabschnitten veränderten Lebensgewohnheiten (Ernährung, Beruf) eine Reduktion der Bleiaufnahme zur Folge haben könnte;
- Grandjean (1975) schließlich hält auch eine im Alter verminderte Bleiabsorption an sich für denkbar.

Die Abbildungen 9 (Beckenkamm), 10 (Femurschaft) und 11 (Felsenbein) zeigen die Verteilung aller 240 Sektionsfälle in Abhängigkeit von Lebensalter und Bleikonzentration im Knochen.

Es wird offenbar, daß die interindividuelle Streubreite der Konzentrationswerte im Falle des Felsenbeins mit dem Alter fortlaufend zunimmt. Dagegen nimmt die Streubreite bei Beckenkamm und Femurschaft im höheren Alter wieder deutlich ab. Auffällig ist, daß bei allen drei Knochentypen der Altersverlauf der Streubreite mit dem Altersverlauf der Bleikonzentration übereinstimmt. Mit anderen Worten ist eine höhere Knochenbleikonzentration einer Altersklasse mit einer entsprechend größeren Streubreite verknüpft.

Abbildung 9: Verteilung des Untersuchungsgutes in Abhängigkeit von Lebensalter und Bleikonzentration (mg/kg Feuchtgewicht) im Beckenkamm.

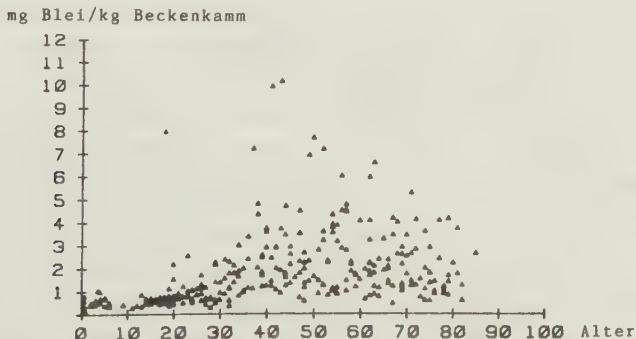


Abbildung 10: Verteilung des Untersuchungsgutes in Abhängigkeit von Lebensalter und Bleikonzentration (mg/kg Feuchtgewicht) im Femurschaft.

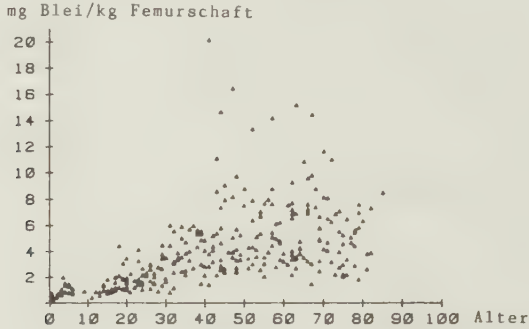
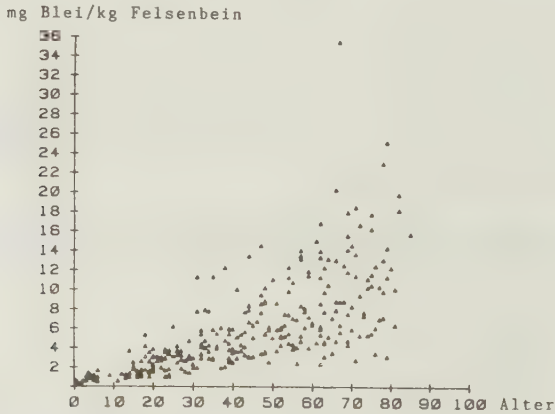


Abbildung 11: Verteilung des Untersuchungsgutes in Abhängigkeit von Lebensalter und Bleikonzentration (mg/kg Feuchtgewicht) im Felsenbein.



6.1.6. Abhängigkeit von Geschlecht und Lebensbereich

Bei Einteilung der Knochenproben nach Geschlecht und Lebensbereich ergeben sich 4 gleichstark besetzte Gruppen, nämlich "Land-männlich" (L-M), "Stadt-männlich" (S-M), "Stadt-weiblich" (S-W) und "Land-weiblich" (L-W). Die in Tabelle 14 aufgeführten gemittelten Knochenbleikonzentrationen für

Tabelle 14: Abhängigkeit der Bleikonzentration (mg/kg Feuchtgewicht) von Geschlecht und Lebensbereich. Anzahl n, geometrische Mittelwerte, delog. Signifikanzschränken und log. Standardabweichung.
L-M = Land-männlich; S-M = Stadt-männlich; S-W = Stadt-weiblich;
L-W = Land-weiblich.

Knochentyp/ Teilpopulation	n	$\bar{x}$	$\bar{x}-1s$	$\bar{x}+1s$	$\log_s$
<u>Beckenkamm</u>					
L-M	60	2,01	1,06	3,81	0,2772
S-M	60	1,88	0,93	3,80	0,3058
S-W	60	1,58	0,81	3,06	0,2882
L-W	60	1,26	0,68	2,33	0,2679
<u>Femurschaft</u>					
L-M	60	4,82	2,50	9,28	0,2847
S-M	60	4,69	2,55	8,61	0,2641
S-W	60	3,39	2,05	5,62	0,2191
L-W	60	2,91	1,77	4,78	0,2163
<u>Felsenbein</u>					
L-M	60	6,50	3,44	12,29	0,2767
S-M	60	6,00	2,92	12,30	0,3122
S-W	60	5,25	2,72	10,13	0,2855
L-W	60	4,77	2,60	8,74	0,2628

diese Teilgruppen sind in Abbildung 12 für jede untersuchte Knochenart nach steigenden Konzentrationswerten geordnet dargestellt. Dabei ergibt sich in allen drei Fällen die gleiche Reihenfolge: männliche Landbewohner haben die höchsten Bleikonzentrationen in den Knochen, gefolgt von den männlichen Stadtbewohnern und den weiblichen Stadtbewohnern. Die niedrigsten Knochenbleikonzentrationen weisen die weiblichen Landbewohner auf.

Abbildung 12: Abhängigkeit der Bleikonzentration (mg/kg Feuchtgewicht) von Geschlecht und Lebensbereich. Einteilung des Untersuchungsgutes in die Teilgruppen (n= 60)

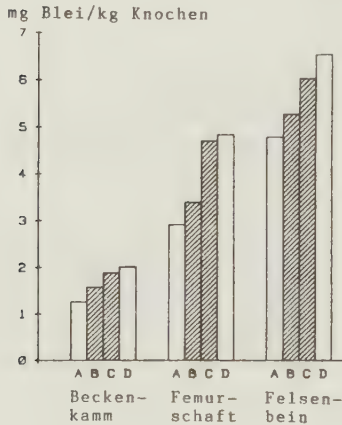
"Land-weiblich" = A

"Stadt-männlich" = C

"Stadt-weiblich" = B

"Land-männlich" = D

Für jeden Knochentyp Anordnung der mittleren Bleikonzentrationen der Teilgruppen nach steigender Konzentration.



Die Gleichförmigkeit der Reihung $L-M > S-M > S-W > L-W$ bei allen drei Knochentypen erlaubt die Feststellungen aus 6.1.3. und 6.1.4. näher zu präzisieren:

- Da Männer in den beiden Teilbereichen "Stadt" und "Land" jeweils höhere Bleikonzentrationen in den Knochen aufweisen als Frauen, addieren sich die Einzelergebnisse mit der Konsequenz, daß die Knochen der männlichen Bevölkerung insgesamt höhere Bleikonzentrationen enthalten als die Knochen der gesamten weiblichen Bevölkerung;
- die Bleikonzentrationen in Knochen der Stadt- bzw. Landbevölkerung insgesamt unterscheiden sich nur unwesentlich, weil die zwischen den Frauen vom Lande und den Frauen aus der Stadt zu beobachtenden Unterschiede in den Knochenbleikonzentrationen (Stadt > Land) durch die bei den Männern umgekehrten Verhältnisse (Land > Stadt) nahezu vollständig ausgeglichen werden.

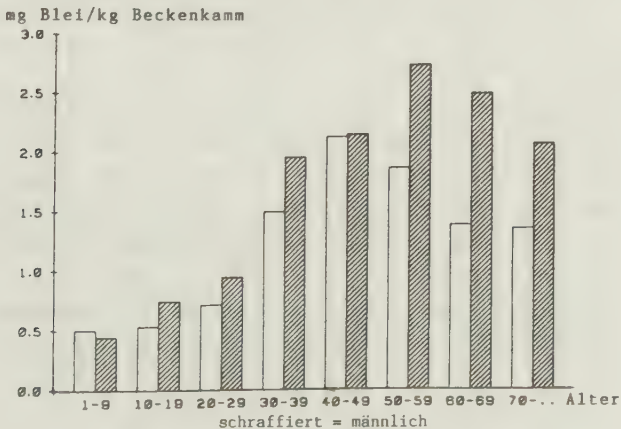
Die Abhängigkeit der Bleikonzentration vom Geschlecht ist bei der Landbevölkerung deutlicher ausgeprägt als bei der Stadtbevölkerung. Der Quotient aus: mittlere Bleikonzentration in Knochen von Männern zu mittlere Bleikonzentration in Knochen von Frauen ergibt für die Landbevölkerung (L-M/L-W) weitaus höhere Werte als für die Stadtbevölkerung (S-M/S-W). Während im Durchschnitt die männlichen Landbewohner im Beckenkamm um 59,5%, im Femurschaft um 65,5% und im Felsenbein um 36,3% höhere Bleikonzentrationen als die weiblichen Landbewohner aufweisen, betragen die entsprechenden Werte der männlichen Stadtbewohner gegenüber den weiblichen Stadtbewohnern nur 19,0% (Beckenkamm), 38,3% (Femurschaft) bzw. 14,3% (Felsenbein).

Wie der Abbildung 12 zu entnehmen ist, besitzt die in 6.1.2. beschriebene Abhängigkeit der Bleikonzentration vom Knochentyp auch für jede der vier Teilgruppen Gültigkeit.

6.1.7. Abhängigkeit von Geschlecht und Lebensalter

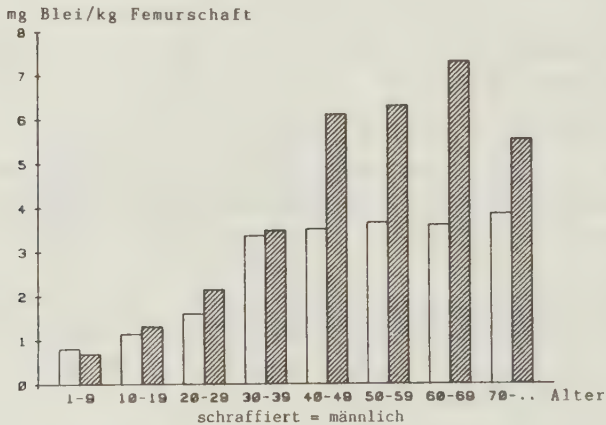
Differenziert man das Untersuchungsgut nach Geschlecht und erreichtem Lebensalter (Tab. 15), so stellt man beim Bleigehalt der Knochen gerade im höheren Alter ausgeprägte Unterschiede zwischen Männern und Frauen fest.

Abbildung 13: Altersverlauf der Bleikonzentration (mg/kg Feuchtgewicht) im Beckenkamm bei beiden Geschlechtern. Schraffiert = männlich.



Wie die Abbildung 13 zeigt, steigt die Bleikonzentration im Beckenkamm bis etwa zum 50. Lebensjahr bei beiden Geschlechtern in ähnlicher Weise an. Während beim Mann die Bleieinlagerung jedoch im 6. Lebensjahrzehnt nochmals zunimmt und erst ab dem 7. Lebensjahrzehnt zurückgeht, setzt bei der Frau der Rückgang der Bleikonzentration bereits nach dem 5. Lebensjahrzehnt ein. Aus diesem Grunde weisen Männer ab 50 Jahren in der Regel deutlich höhere Bleikonzentrationen im Beckenkamm auf als gleichaltrige Frauen.

Abbildung 14: Altersverlauf der Bleikonzentration (mg/kg Feuchtgewicht) im Femurschaft bei beiden Geschlechtern. Schraffiert = männlich.



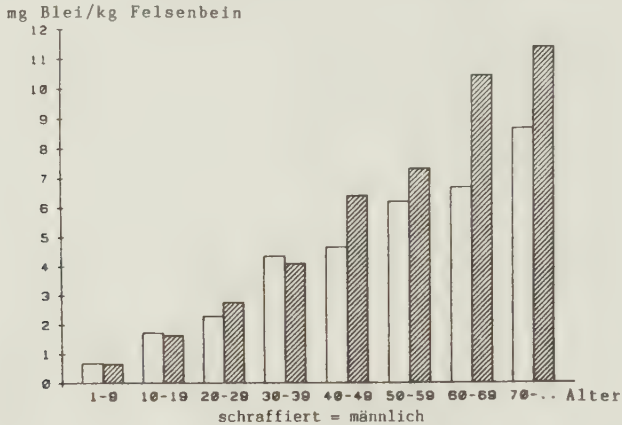
Die Bleikonzentration im Femurschaft (vgl. Abb. 14) steigt bei beiden Geschlechtern bis ins 4. Lebensjahrzehnt an. Beim Mann nimmt auch danach die Bleieinlagerung weiter zu und geht erst jenseits des 70. Lebensjahres wieder deutlich zurück. Die weiblichen Femora dagegen behalten die Konzentration aus dem 4. Lebensjahrzehnt bis ins hohe Alter bei.

Im fortgeschrittenen Alter sind daher auch im Femurschaft bei Männern höhere Bleikonzentrationen als bei Frauen zu finden.

Tabelle 15: Abhängigkeit der Bleikonzentration (mg/kg Feuchtgewicht) von Geschlecht und Lebensalter. Anzahl n, geometrische Mittelwerte, delog. Signifikanzschranken und log. Standardabweichung.

Knochentyp/ Geschlecht	Altersklasse	n	$\bar{x}$	$\bar{x}-1s$	$\bar{x}+1s$	$\log_s$
<u>Beckenkamm</u>						
männlich	20 - 29	20	0,94	0,59	1,49	0,2003
	30 - 39	20	1,95	1,17	3,23	0,2208
	40 - 49	20	2,14	0,95	4,81	0,3515
	50 - 59	20	2,72	1,56	4,74	0,2416
	60 - 69	20	2,48	1,44	4,25	0,2342
	> 70	20	2,06	1,16	3,68	0,2509
weiblich	20 - 29	20	0,71	0,44	1,12	0,2003
	30 - 39	20	1,49	0,76	2,92	0,2922
	40 - 49	20	2,12	1,22	3,69	0,2392
	50 - 59	20	1,86	1,03	3,35	0,2558
	60 - 69	20	1,38	0,83	2,30	0,2201
	> 70	20	1,35	0,79	2,32	0,2339
<u>Femurschaft</u>						
männlich	20 - 29	20	2,14	1,41	3,25	0,1809
	30 - 39	20	3,48	2,10	5,79	0,2207
	40 - 49	20	6,10	3,19	11,67	0,2817
	50 - 59	20	6,29	4,23	9,35	0,1721
	60 - 69	20	7,27	4,92	10,75	0,1697
	> 70	20	5,52	3,57	8,54	0,1897
weiblich	20 - 29	20	1,60	1,06	2,42	0,1783
	30 - 39	20	3,36	2,14	5,29	0,1969
	40 - 49	20	3,51	2,35	5,24	0,1741
	50 - 59	20	3,66	2,64	5,07	0,1420
	60 - 69	20	3,60	2,39	5,42	0,1774
	> 70	20	3,85	2,44	6,07	0,1982
<u>Felsenbein</u>						
männlich	20 - 29	20	2,75	1,68	4,51	0,2138
	30 - 39	20	4,05	2,37	6,91	0,2319
	40 - 49	20	6,33	4,02	9,95	0,1966
	50 - 59	20	7,23	4,59	11,40	0,1977
	60 - 69	20	10,32	6,35	16,75	0,2105
	> 70	20	11,25	7,70	16,45	0,1649
weiblich	20 - 29	20	2,29	1,62	3,24	0,1507
	30 - 39	20	4,31	2,77	6,72	0,1925
	40 - 49	20	4,60	3,00	7,06	0,1854
	50 - 59	20	6,12	4,18	8,96	0,1654
	60 - 69	20	6,59	3,64	11,92	0,2575
	> 70	20	8,55	4,56	16,05	0,2734

Abbildung 15: Altersverlauf der Bleikonzentration (mg/kg Feuchtgewicht) im Felsenbein bei beiden Geschlechtern. Schraffiert = männlich.



Wie in 6.1.5. festgestellt, steigt die Bleikonzentration im Felsenbein im Laufe des Lebens konstant an. Die Abbildung 15 läßt erkennen, daß dies sowohl beim Mann wie bei der Frau zutrifft, wenngleich der Anstieg bei den Frauen nach dem 40. Lebensjahr langsamer vonstatten geht.

Insgesamt betrachtet sind im jüngeren Erwachsenenalter zwischen den Geschlechtern nur geringfügige Unterschiede in der Knochenbleikonzentration zu registrieren. Im höheren Alter kommt es dagegen – wohl durch die bei Frauen früher einsetzende Involutionsosteoporose – zu einem erheblichen Mehr an Blei in Knochen von Männern. Diese Beobachtungen decken sich mit den Angaben von Eder und Gedigk (1977), wonach die Involutionsosteoporose bei Frauen nach der Menopause auftritt, bei Männern jedoch erst um das 70. Lebensjahr.

6.1.8. Abhängigkeit von Lebensbereich und Lebensalter

Die in den Abbildungen 16 (Beckenkamm), 17 (Femurschaft) und 18 (Felsenbein) dargestellten Veränderungen der Knochenbleikonzentrationen bei der Stadt- bzw. Landbevölkerung mit dem Alter (s. auch Tab. 16) zeigen – im Rahmen der in 6.1.5. beschriebenen allgemeinen Altersentwicklung – ein

Abbildung 16: Altersverlauf der Bleikonzentration (mg/kg Feuchtgewicht) im Beckenkamm bei der Stadt- bzw. Landbevölkerung.
Schraffiert = Stadt.

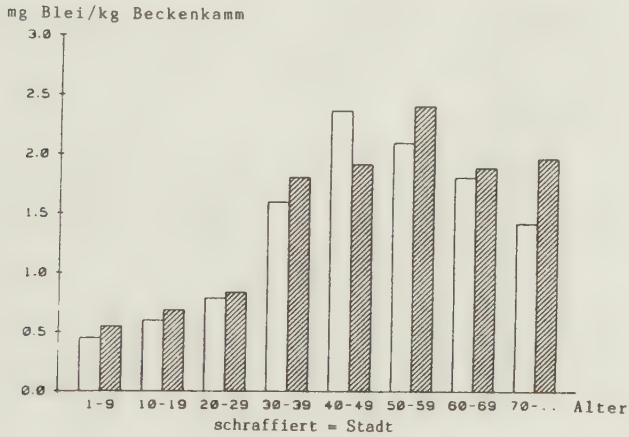


Abbildung 17: Altersverlauf der Bleikonzentration (mg/kg Feuchtgewicht) im Femurschaft bei der Stadt- bzw. Landbevölkerung.
Schraffiert = Stadt.

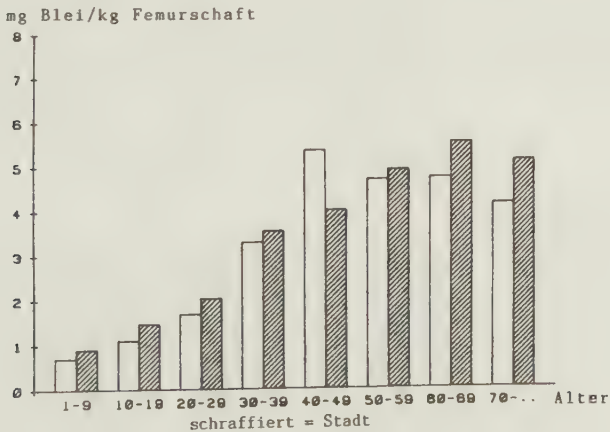
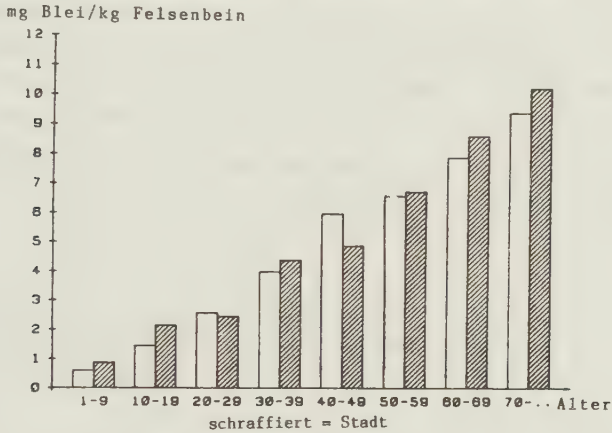


Tabelle 16: Abhängigkeit der Bleikonzentration (mg/kg Feuchtgewicht) von Lebensbereich und Lebensalter. Anzahl n, geometrische Mittelwerte, delog. Signifikanzschranken und log. Standardabweichung.

Knochentyp/ Lebensbereich	Altersklasse	n	$\bar{x}$	$\bar{x}-1s$	$\bar{x}+1s$	$\log_s$
<u>Beckenkamm</u>						
Stadt	20 - 29	20	0,84	0,54	1,29	0,1881
	30 - 39	20	1,81	1,06	3,08	0,2311
	40 - 49	20	1,92	0,85	4,34	0,3536
	50 - 59	20	2,41	1,24	4,67	0,2883
	60 - 69	20	1,89	0,97	3,71	0,2920
	> 70	20	1,97	1,23	3,15	0,2034
Land	20 - 29	20	0,79	0,47	1,34	0,2294
	30 - 39	20	1,60	0,82	3,15	0,2937
	40 - 49	20	2,37	1,40	3,99	0,2268
	50 - 59	20	2,10	1,23	3,57	0,2305
	60 - 69	20	1,81	1,08	3,05	0,2265
	> 70	20	1,41	0,73	2,75	0,2885
<u>Femurschaft</u>						
Stadt	20 - 29	20	2,04	1,35	3,07	0,1785
	30 - 39	20	3,55	2,14	5,89	0,2200
	40 - 49	20	4,01	2,29	7,00	0,2423
	50 - 59	20	4,91	3,04	7,92	0,2081
	60 - 69	20	5,53	3,30	9,25	0,2235
	> 70	20	5,12	3,43	7,64	0,1714
Land	20 - 29	20	1,69	1,08	2,64	0,1939
	30 - 39	20	3,30	2,10	5,18	0,1965
	40 - 49	20	5,34	2,87	9,95	0,2701
	50 - 59	20	4,69	3,04	7,24	0,1885
	60 - 69	20	4,74	2,73	8,21	0,2388
	> 70	20	4,15	2,44	7,07	0,2314
<u>Felsenbein</u>						
Stadt	20 - 29	20	2,45	1,54	3,89	0,2010
	30 - 39	20	4,38	2,40	8,00	0,2615
	40 - 49	20	4,88	3,31	7,19	0,1686
	50 - 59	20	6,73	4,16	10,88	0,2085
	60 - 69	20	8,61	4,77	15,55	0,2566
	> 70	20	10,23	6,19	16,90	0,2180
Land	20 - 29	20	2,57	1,71	3,86	0,1767
	30 - 39	20	3,98	2,83	5,60	0,1482
	40 - 49	20	5,97	3,56	10,02	0,2250
	50 - 59	20	6,58	4,55	9,52	0,1602
	60 - 69	20	7,89	4,41	14,13	0,2529
	> 70	20	9,40	5,32	16,61	0,2474

Abbildung 18: Altersverlauf der Bleikonzentration (mg/kg Feuchtgewicht) im Felsenbein bei der Stadt- bzw. Landbevölkerung.
Schraffiert = Stadt.



dem Betrage nach schwankendes Übergewicht des Bleis in den Knochen von Stadtbewohnern. Dieses Übergewicht wird teilweise kompensiert durch höhere Bleikonzentrationen in den Knochen der Landbevölkerung in der Altersklasse zwischen 40 und 49 Jahren, wobei diese höheren Konzentrationen bei allen Knochentypen festzustellen sind. Die genannten Unterschiede im Bleigehalt von Knochen der Stadt- bzw. Landbewohner reichen nicht aus, um daraus auf eine verschiedenartig verlaufende Altersentwicklung zu schließen.

6.1.9. Abhängigkeit von Geschlecht, Lebensalter und Lebensbereich

Die Abbildungen 19 (Beckenkamm), 20 (Femurschaft) und 21 (Felsenbein) geben die gemittelten Knochenbleikonzentrationen des Untersuchungsgutes aufgeschlüsselt nach Geschlecht, Lebensalter und Lebensbereich (vgl. Tab. 17) graphisch wieder. Man erkennt die altersabhängigen Veränderungen der Bleikonzentration im jeweiligen Knochentyp bei den vier in 6.1.6. genannten Teilpopulationen (L-M, S-M, S-W bzw. L-W).

Die in Tabelle 17 aufgelisteten Bleikonzentrationen stellen die rechnerische Grundlage für die Zahlenwerte in 6.1.2. bis 6.1.8. dar; es wird daher auf die entsprechenden Abschnitte verwiesen.

Abbildung 19: Abhängigkeit der Bleikonzentration (mg/kg Feuchtgewicht) im Beckenkamm von Geschlecht, Lebensalter und Lebensbereich.

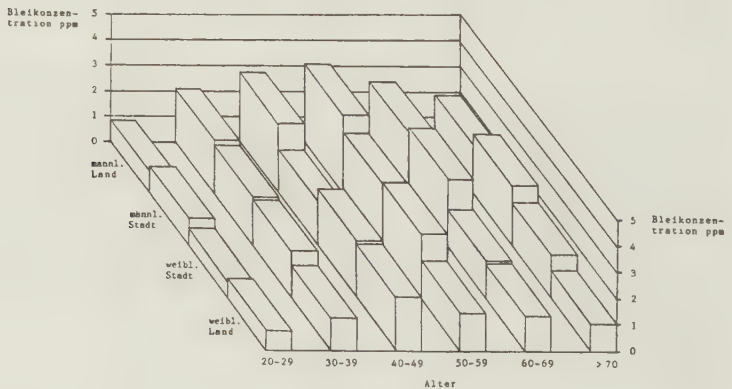


Abbildung 20: Abhängigkeit der Bleikonzentration (mg/kg Feuchtgewicht) im Femurschaft von Geschlecht, Lebensalter und Lebensbereich.

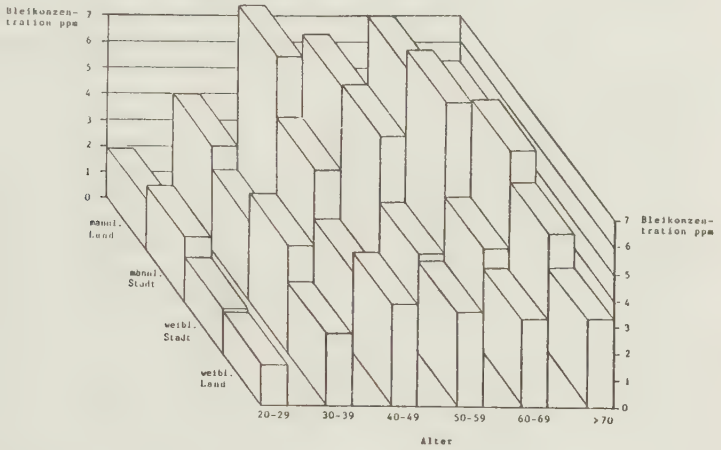


Abbildung 21: Abhängigkeit der Bleikonzentration (mg/kg Feuchtgewicht) im Felsenbein von Geschlecht, Lebensalter und Lebensbereich.

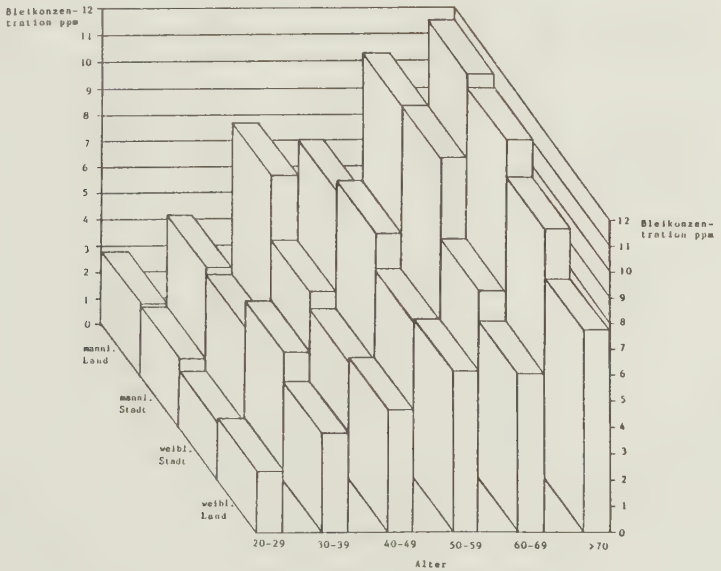


Tabelle 17: Abhängigkeit der Bleikonzentration (mg/kg Feuchtgewicht) von Geschlecht, Lebensalter und Lebensbereich. Anzahl n, geometrische Mittelwerte, delog. Signifikanzschränken und log. Standardabweichung.

Tab. 17-1: Beckenkamm

Altersklasse	Teilpopulation	n	$\bar{x}$	$\bar{x}-1s$	$\bar{x}+1s$	$\log_s$
20 - 29	L-M	10	0,87	0,58	1,30	0,1752
	S-M	10	1,01	0,60	1,71	0,2267
	S-W	10	0,69	0,56	0,84	0,0870
	L-W	10	0,72	0,38	1,36	0,2771
30 - 39	L-M	10	2,06	1,36	3,12	0,1812
	S-M	10	1,84	1,01	3,36	0,2622
	S-W	10	1,78	1,10	2,88	0,2096
	L-W	10	1,25	0,56	2,80	0,3509
40 - 49	L-M	10	2,72	1,57	4,72	0,2399
	S-M	10	1,69	0,64	4,48	0,4237
	S-W	10	2,19	1,16	4,16	0,2781
	L-W	10	2,06	1,28	3,32	0,2073
50 - 59	L-M	10	3,08	2,11	4,52	0,1656
	S-M	10	2,39	1,20	4,75	0,2983
	S-W	10	2,42	1,23	4,76	0,2939
	L-W	10	1,43	1,01	2,02	0,1502
60 - 69	L-M	10	2,39	1,56	3,66	0,1852
	S-M	10	2,56	1,33	4,94	0,2845
	S-W	10	1,40	0,79	2,46	0,2457
	L-W	10	1,37	0,86	2,20	0,2045
> 70	L-M	10	1,86	0,87	3,95	0,3281
	S-M	10	2,30	1,65	3,19	0,1430
	S-W	10	1,69	0,98	2,93	0,2390
	L-W	10	1,08	0,69	1,68	0,1925

Tab. 17-2: Femurschaft

Altersklasse	Teilpopulation	n	$\bar{x}$	$\bar{x}-1s$	$\bar{x}+1s$	$\log_s$
20 - 29	L-M	10	1,87	1,26	2,76	0,1706
	S-M	10	2,47	1,64	3,72	0,1784
	S-W	10	1,68	1,21	2,33	0,1207
	L-W	10	1,53	0,93	2,51	0,2147
30 - 39	L-M	10	3,96	2,91	5,40	0,1345
	S-M	10	3,06	1,61	5,82	0,2622
	S-W	10	4,12	3,10	5,47	0,1234
	L-W	10	2,74	1,65	4,58	0,2221
40 - 49	L-M	10	7,36	3,62	14,94	0,3076
	S-M	10	5,06	2,90	8,81	0,2410
	S-W	10	3,17	1,97	5,12	0,2078
	L-W	10	3,88	2,89	5,22	0,1286
50 - 59	L-M	10	6,27	4,24	9,28	0,1699
	S-M	10	6,31	4,14	9,63	0,1835
	S-W	10	3,81	2,54	5,72	0,1763
	L-W	10	3,51	2,76	4,45	0,1037
60 - 69	L-M	10	6,94	4,72	10,20	0,1675
	S-M	10	7,63	5,06	11,49	0,1782
	S-W	10	4,01	2,68	5,98	0,1740
	L-W	10	3,24	2,15	4,87	0,1771
> 70	L-M	10	5,27	3,09	8,99	0,2323
	S-M	10	5,78	4,14	8,08	0,1451
	S-W	10	4,53	2,91	7,03	0,1914
	L-W	10	3,27	2,12	5,03	0,1875

Tab. 17-3: Felsenbein

Altersklasse	Teilpopulation	n	$\bar{x}$	$\bar{x}-1s$	$\bar{x}+1s$	$\log_s$
20 - 29	L-M	10	2,80	1,89	4,17	0,1723
	S-M	10	2,70	1,49	4,90	0,2583
	S-W	10	2,22	1,68	2,93	0,1207
	L-W	10	2,35	1,55	3,58	0,1817
30 - 39	L-M	10	4,18	3,09	5,65	0,1307
	S-M	10	3,92	1,92	8,00	0,3099
	S-W	10	4,90	3,04	7,90	0,2076
	L-W	10	3,79	2,58	5,59	0,1682
40 - 49	L-M	10	7,68	4,92	12,00	0,1938
	S-M	10	5,21	3,54	7,67	0,1680
	S-W	10	4,57	3,07	6,81	0,1732
	L-W	10	4,64	2,88	7,45	0,2062
50 - 59	L-M	10	7,05	4,80	10,35	0,1656
	S-M	10	7,42	4,34	12,69	0,2333
	S-W	10	6,10	4,01	9,30	0,1827
	L-W	10	6,14	4,29	8,80	0,1561
60 - 69	L-M	10	10,31	6,39	16,64	0,2077
	S-M	10	10,32	6,15	17,30	0,2244
	S-W	10	7,19	3,83	13,50	0,2737
	L-W	10	6,04	3,41	10,71	0,2486
> 70	L-M	10	11,52	7,40	17,95	0,2323
	S-M	10	10,99	7,92	15,24	0,1420
	S-W	10	9,55	5,02	18,16	0,2793
	L-W	10	7,66	4,08	14,37	0,2734

6.1.10. Gesamtkörperbelastung mit Blei

Die "body burden", also die Gesamtmenge an Blei im menschlichen Körper, kann in Analogie zu der von Barry (1975) vorgeschlagenen Methode unter den folgenden Annahmen berechnet werden:

1. Die Masse der spongiösen Knochen entspricht der Masse der kompakten Knochen;
2. Beckenkammgewebe bzw. ein Corticalisspan des Femurschafts sind repräsentative Vertreter für spongiöse bzw. für kompakte Knochen;
3. das Skelett eines erwachsenen Mannes wiegt im Schnitt 9,6 kg, das einer erwachsenen Frau 8,6 kg;
4. von der gesamten Bleimenge im Körper sind beim Mann 94,4%, bei der Frau 94,0% im Skelettsystem enthalten.

Tabelle 18: Bleikonzentrationen (mg/kg Feuchtgewicht) in Beckenkamm, Femurschaft und Felsenbein. Arithmetische Mittelwerte für männliche (n=120) und weibliche (n=120) Erwachsene sowie für das gesamte Untersuchungsgut (n=240).

Knochentyp	Männer	Frauen	alle Erwachsenen
Beckenkamm	2,41	1,76	2,08
Femurschaft	5,70	3,53	4,62
Felsenbein	7,71	6,14	6,92

Die auf diese Weise kalkulierbar gewordene Gesamtkörperbelastung mit Blei - zur Berechnung wurden arithmetische Mittelwerte (s. Tab. 18) herangezogen - beträgt bei den Männern unseres Untersuchungsgutes im Durchschnitt 41,4 mg Blei, bei den Frauen 24,1 mg Blei.

Die bei den Frauen niedrigere "body burden" ist dabei sowohl eine Folge des geringeren Bleigehalts in den Knochen als auch der kleineren Skelettmasse.

6.2. Vergleich mit Literaturangaben

6.2.1. Vergleich mit Kreglinger (1977)

Ein Ziel unserer Arbeit war die Klärung der Frage, ob die gegenüber den Untersuchungsergebnissen von Kreglinger veränderte Umweltsituation (s.u.) zu Änderungen bei der Bleikonzentration in menschlichen Knochen geführt hat. Unter ähnlichen Bedingungen, wie sie für unsere Arbeit maßgebend waren, hatte Kreglinger in der Zeit von Februar bis November 1974 im Institut für Rechtsmedizin der Universität München bei 57 Leichen – darunter 51 im Erwachsenenalter – Proben von jeweils 5 verschiedenen Knochentypen entnommen und den Bleigehalt der Proben mittels flammenloser AAS bestimmt.

Zu Vergleichszwecken herangezogen werden können die Ergebnisse der in beiden Studien untersuchten Knochentypen Beckenkamm und Femurschaft. Die Tabellen 19 und 20 enthalten Angaben über die zu vergleichenden Teilpopulationen (vgl. 6.1.6.) bzw. die ermittelten Knochenbleikonzentrationen aus beiden Studien.

Tabelle 19: Stärke (n= Anzahl) und Durchschnittsalter (in Jahren) der Teilpopulationen (vgl. 6.1.6.) in beiden Studien.
1974 = Kreglinger; 1984 = unsere Arbeit.

Teilpopulation	1974		1984	
	n	mittleres Alter	n	mittleres Alter
Stadt - männlich	27	48,3	60	49,9
Stadt - weiblich	6	51,8	60	50,0
Land - männlich	9	49,4	60	50,6
Land - weiblich	9	51,6	60	50,1

alle Erwachsene	51	49,5	240	50,2

Tabelle 20: Vergleich der mittleren Bleikonzentrationen (mg/kg Feuchtgewicht; geometrische Mittelwerte) in Beckenkamm und Femurschaft bei den Teilpopulationen aus beiden Studien.
1974 = Kreglinger; 1984 = unsere Untersuchung.

Teilpopulation	B e c k e n k a m m			F e m u r s c h a f t		
	1974	1984	p	1974	1984	p
Stadt-männlich	3,14	1,88	$1,9 \times 10^{-3}$	6,27	4,69	$9,9 \times 10^{-3}$
Stadt-weiblich	4,68	1,58	$4,7 \times 10^{-4}$	5,97	3,39	$2,3 \times 10^{-2}$
Land-männlich	1,76	2,01	0,55	3,99	4,82	0,58
Land-weiblich	1,99	1,26	0,17	4,39	2,91	$3,0 \times 10^{-2}$

Im einzelnen lassen sich folgende Ergebnisse finden (Drasch, 1985):

1. Mittelwerte:

Die 1984 gefundenen Mittelwerte liegen, sowohl was das gesamte Untersuchungsgut als auch die Teilpopulationen (s. 6.1.6.) betrifft, signifikant niedriger als die Vergleichswerte von 1974 (Abb. 22 und 23). Eine Ausnahme bildet die männliche Landbevölkerung, die 1984

Abbildung 22: Änderung der Bleikonzentration (mg/kg Feuchtgewicht) im Beckenkamm zwischen 1974 und 1984 bei den Teilpopulationen (s. 6.1.6.). Geometrische Mittelwerte.

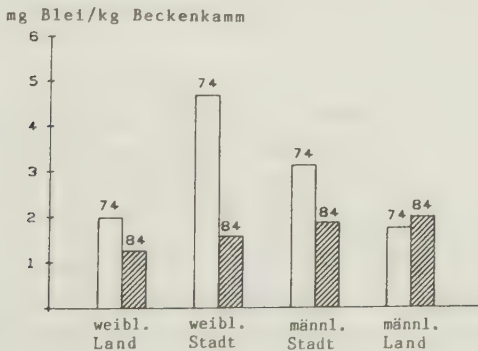
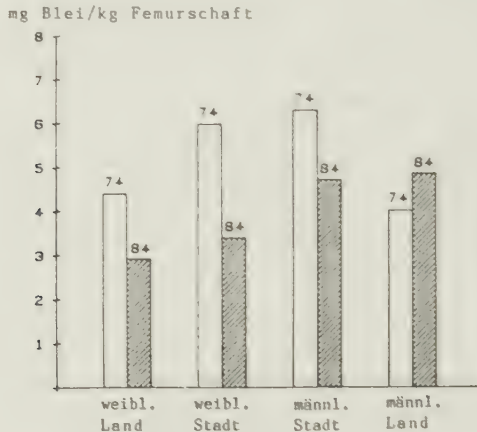


Abbildung 23: Änderung der Bleikonzentration (mg/kg Feuchtgewicht) im Femurschaft zwischen 1974 und 1984 bei den Teilpopulationen (s. 6.1.6.). Geometrische Mittelwerte.



bei beiden Knochentypen höhere Bleikonzentrationen aufweist, wobei jedoch die Unterschiede statistisch nicht signifikant sind. Möglicherweise ist diese Abweichung vom übrigen Ergebnis auf die heterogene Struktur der Landbevölkerung (vgl. 3.) zurückzuführen.

2. Abhängigkeit vom Knochentyp:

Auf der Basis aller Erwachsener liegt die Bleikonzentration im Femurschaft 2,0 -mal (1974) bzw. 2,3 -mal (1984) höher als im Beckenkamm.

3. Abhängigkeit vom Geschlecht:

Während 1974 bei beiden Knochentypen kein signifikanter Unterschied zwischen Männern und Frauen in der Höhe der Knochenbleikonzentration feststellbar war, sind die Bleikonzentrationen 1984 in beiden Knochentypen bei den Männern signifikant (>99%) höher als bei den Frauen.

4. Abhängigkeit vom Lebensbereich:

1974 wurden sowohl im Femurschaft als auch im Beckenkamm bei der Stadtbevölkerung signifikant höhere Bleikonzentrationen ermittelt als bei der Landbevölkerung. Dagegen zeigen sich 1984 keine signifikanten Unterschiede.

5. Abhängigkeit vom Lebensalter:

Die Ergebnisse beider Studien zeigen einen Anstieg der Bleikonzentration in beiden Knochentypen bis ins mittlere Alter. Im höheren Lebensalter erreichen die Konzentrationswerte ein Plateau und fallen teilweise sogar wieder ab. Auffällig ist, daß in der Zeitspanne zwischen beiden Untersuchungen der Bleigehalt im Femurschaft bei

Abbildung 24: Änderung der Bleikonzentration (mg/kg Feuchtgewicht) im Femurschaft bei der männlichen Stadtbevölkerung zwischen 1974 und 1984. Einteilung nach Altersklassen; geometrische Mittelwerte.

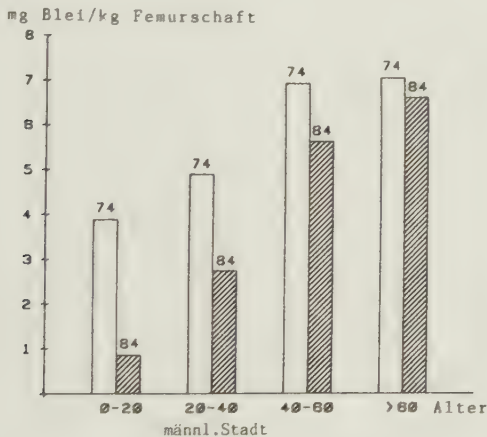


Tabelle 21: Bleikonzentrationen in Beckenkamm und Femurschaft bei der männlichen Stadtbevölkerung (geometrische Mittelwerte; mg/kg Feuchtgewicht). Vergleich der Meßwerte aus beiden Studien, aufgeschlüsselt in 20-Jahres-Blöcken. 1974=Kreglinger; 1984= diese Arbeit. Anzahl= n.

Alter (Jahre)	Beckenkamm		Femurschaft	
	1974	1984	1974	1984
0 - 20	1,69 (n=4)	0,47 (n=14)	3,89 (n=4)	0,86 (n=14)
20 - 40	2,50 (n=9)	1,36 (n=20)	4,90 (n=9)	2,75 (n=20)
40 - 60	4,18 (n=9)	2,01 (n=20)	6,94 (n=9)	5,65 (n=20)
über 60	3,26 (n=8)	2,43 (n=20)	7,08 (n=8)	6,64 (n=20)

den jüngeren Erwachsenen (20.-40. Lebensjahr) wesentlich gravierender zurückgegangen ist als bei älteren Leuten. Beim Beckenkamm erfolgt die Abnahme der Bleikonzentration zwischen 1974 und 1984 bei Erwachsenen verschiedener Altersklassen gleichmäßiger (vgl. Abb. 24 sowie Tab. 21).

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß in den letzten 10 Jahren die Bleikonzentration in den Knochen der Bevölkerung des südbayerischen Raumes insgesamt abgenommen hat.

Der beobachtete Rückgang der Bleikonzentrationen im Skelettsystem dürfte auf die Begrenzung des Bleigehalts von Otto-Motor-Kraftstoffen durch das Benzinbleigesetz (BzBlG) vom 5.8.1971 zurückzuführen sein. Vor Wirkungseintritt des Gesetzes hatte der Bleigehalt noch vielfach 0,8 - 1,0 g/l Benzin betragen. Ab 1.1.1972 wurde er zunächst auf 0,4 g/l, in einer zweiten Stufe ab 1.1.1976 auf 0,15 g/l begrenzt.

Wie Untersuchungen ergaben (Gräf, 1980), nahm als Folge des BzBlG die Bleikonzentration in "Straßenstaub" (Partikelgröße = 25 µm) vor allem entlang viel befahrener Straßen deutlich ab. Obwohl Staubeilchen dieser Größe i.a. keine unmittelbare Gefährdung für die Gesundheit des Menschen darstellen - Bleistaub liegt in Städten nach Erkenntnissen von Lieback und Rüden (1983) ganz überwiegend in einer lungengängigen Körnchengröße < 2 µm vor - hält Gräf den "Straßenstaub" dennoch für geeignet, um eine längerfristige verkehrsbedingte Immissionsbelastung anzuzeigen. Nach Borneff (1980) haben Kontrollmessungen der Bleiimmission, die in Mainz und Ludwigshafen durchgeführt wurden, zwar eine allmähliche Abnahme, jedoch keinen drastischen Abfall der Bleibelastung nach Inkrafttreten der 2. Stufe des BzBlG ergeben.

Auch die alimentär bedingte Bleibelastung des Verbrauchers in der BR Deutschland zeigt nach Klein (1983) und Weigert (1984) eine rückläufige Tendenz. Da pflanzliche Nahrungsmittel, wie in 1.3.1. beschrieben, im wesentlichen durch atmosphärische Einflüsse mit Blei kontaminiert werden, läßt sich durch die Senkung des Bleigehalts in der Luft auch eine Reduktion des Bleigehalts von Nahrungspflanzen ableiten.

Insgesamt dürfte das BzBlG, indem es den verkehrsbedingten Bleiausstoß

eingeschränkt hat, in der BR Deutschland zu einem Rückgang sowohl der inhalativen wie der alimentären Bleiaufnahme geführt haben.

Die Auswirkungen der Reduktion von bleihaltigen Kraftstoffzusätzen auf die Bleikonzentration im Blut untersuchten Annett (1983) für die USA bzw. Sinn (1980) für die BR Deutschland. In den USA spiegelte sich eine Verminderung des Benzinbleizusatzes zwischen 1970 und 1979 um 40% in einer alle Bevölkerungsschichten umfassenden Abnahme des Blutbleigehaltes um 37% zwischen 1976 und 1980 wieder. Die Untersuchung der Blutbleikonzentrationen vor und nach Inkrafttreten der 2. Stufe des BzBlG in der "Blutbleistudie Frankfurt" ergab 1976 für beide Geschlechter eine statistisch hochgesicherte Abnahme der Blutbleispiegel. Im darauffolgenden Jahr zeigte sich dann aber keine eindeutige Abnahme mehr.

Nachdem - wie in 1.4.2. dargestellt - allein die Bestimmung des Bleigehaltes im Knochengewebe eine längerfristige Änderung der Bleiexposition in Individuen festzustellen vermag, kann aus dem Rückgang der Knochenbleikonzentrationen zwischen 1974 (Kreglinger) und 1984 (unsere Arbeit) der Schluß gezogen werden, daß sich die Bleibelastung der Bevölkerung im südbayerischen Raum in den letzten 10 Jahren verringert hat. Da sich die Lebensgewohnheiten in diesem Zeitraum nicht wesentlich geändert haben, ist der Rückgang mit großer Sicherheit auf die Reduktion des Benzinbleigehaltes zurückzuführen.

Die beabsichtigte generelle Einführung unverbleiter Kraftstoffe in der BR Deutschland dürfte in den nächsten Jahren zu einer weiteren Verminderung der Bleibelastung der Bevölkerung im südbayerischen Raum führen. Dementsprechend sollte als Folge dieser Maßnahme eine weitere Abnahme der Knochenbleikonzentrationen feststellbar sein.

6.2.2. Vergleich mit anderen Autoren

Eine in unserem Auftrag vom "Deutschen Institut für Medizinische Dokumentation und Information" (dimdi), Köln, durchgeführte Literaturrecherche ergab, daß in dem Zeitraum von 1971 bis 1985 weltweit annähernd 100 Arbeiten zum Thema "Blei im menschlichen Knochen" publiziert worden sind. In der Mehrzahl handelt es sich dabei um Studien des Metabolismus und der toxischen Wirkungen des Bleis sowie um Literaturübersichten, Publikatio-

nen zum Nachweis der Bedeutung besonderer Analysenverfahren (z.B. in-vivo Messung von Blei im Knochen mittels Röntgen-Fluoreszenz-Analyse) und um anthropologische Untersuchungen. Demgegenüber gibt es nur wenige Autoren, die über eigene Messungen des Bleigehalts in menschlichen Knochen berichten.

Die Möglichkeit, vergleichende Wertungen mit den Angaben aus der Literatur vorzunehmen, wird durch folgende Faktoren erschwert:

- Heterogenität des Untersuchungsmaterials:

Die große Zahl verschiedener menschlicher Knochen bzw. das Fehlen eines als repräsentativ für das ganze Skelettsystem anzusehenden Knochentyps bringt es mit sich, daß von den Autoren verschiedenartige Knochen untersucht werden. Auf diese Weise ist es oft nur möglich, ähnliche Knochentypen (z.B. Femur und Tibia) miteinander zu vergleichen, während ein direkter Vergleich eines Knochentyps nur selten möglich ist;

- die von den Autoren angegebenen Bleikonzentrationen beziehen sich teilweise auf das Feuchtgewicht, teilweise auf das Trockengewicht oder auch auf das Gewicht des veraschten Knochens. Je nach dem verwendeten Bezugssystem ergeben sich sehr unterschiedliche Ergebniswerte. Für manche Knochentypen wurden zwar Umrechnungsfaktoren ermittelt, diese weichen aber von Autor zu Autor z.T. erheblich voneinander ab (Hammer, 1973; Barry, 1975; Ulrich, 1978);

- mitunter sind die Probenumfänge recht bescheiden, so daß beispielsweise eine Altersgruppe nur durch eine Probe vertreten ist. Darüberhinaus weisen einige Kollektive einen nur bedingt repräsentativen Altersquerschnitt auf.

Wie bereits erwähnt, verwendeten wir aus statistischen Gründen stets geometrische Mittelwerte bei der Berechnung von gemittelten Bleikonzentrationen. Wegen des in der Literatur vorherrschenden Gebrauchs arithmetischer Mittelwerte erfolgt der Vergleich mit den Ergebnissen anderer Autoren jedoch auf dieser Basis. Die wichtigsten arithmetischen Mittelwerte unserer Arbeit zeigt Tab. 18.

Im folgenden sollen die Untersuchungsergebnisse der Autoren diskutiert werden, die den Bleigehalt in Knochen beruflich nicht exponierter Erwachsener gemessen haben. Einleitend werden dabei das Land, in dem die Untersuchung stattfand, die Bezugseinheit (trocken/feucht/verascht), die verwendete Untersuchungsmethode und die analysierten Knochentypen genannt.

6.2.2.1. Barry, 1975

(Großbritannien, ppm-Feuchtgewicht, Dithizon-Methode)

Barry ermittelte den Bleigehalt einer Vielzahl von verschiedenen menschlichen Gewebearten. Aus dem Bereich des Skelettsystems wurden Proben von Felsenbein, Tibia, Schädeldach und Rippen analysiert (Tab. 22).

Einem direkten Vergleich zugänglich sind die Ergebnisse beim Felsenbein. Die von Barry gefundenen Konzentrationswerte liegen - für Männer und Frauen gleichermaßen - etwa um den Faktor 4,3 höher als unsere Werte. Dagegen stimmen die Quotienten aus: Bleikonzentration in den Knochen von

Tabelle 22: Bleikonzentrationen (ppm-Feuchtgewicht) in menschlichen Knochen. Arithmetische Mittelwerte aus der Literatur für männliche und weibliche Erwachsene.

Verfasser	Knochentyp	Männer	Frauen
Barry (1975)	Felsenbein	33,71	26,63
	Tibia	23,40	15,99
	Schädeldach	20,17	16,46
	Rippen	8,85	6,77
Gross (1975)	Tibia	14,09	-----
	Schädel	13,81	-----
	Rippen	7,14	-----
	Wirbel	4,42	-----
Kreglinger (1977)	Femurmitte	6,23	6,16
	Schädel	5,61	5,22
	Beckenkamm	3,26	3,84
	Sternum	2,85	2,44

Männern zu Bleikonzentration in den Knochen von Frauen in beiden Studien überein, demzufolge Männer circa 25% mehr Blei im Felsenbein speichern als Frauen. Wie bei Barry, so lassen die Bleikonzentrationen im Felsenbein auch bei uns im Laufe eines Lebens bei beiden Geschlechtern einen steten Anstieg erkennen. Darüber hinaus erweist sich das Felsenbein in beiden Studien als der Knochen, der im stärksten Ausmaß Blei zu speichern vermag.

Vergleicht man - unter Annahme einer ausreichenden anatomischen und metabolischen Ähnlichkeit der Knochentypen - die von Barry gemessenen mittleren Bleikonzentrationen der Tibia mit den entsprechenden Konzentrationswerten des Femurschafts aus unserer Studie (als Vertreter langer Röhrenknochen) sowie die mittleren Bleikonzentrationen der von Barry untersuchten Rippen mit den Konzentrationswerten unserer Beckenkammproben (also vorwiegend spongiosahaltige Knochen), so ergibt sich jeweils in etwa der beim Felsenbein festgestellte Verhältnissfaktor zwischen beiden Studien (Röhrenknochen: Faktor 4,3; spongiöse Knochen: Faktor 3,8; vgl. Tab 18 und Tab. 22).

Der von uns in 6.1.7. für Femurschaft und Beckenkamm beschriebene Rückgang der Bleikonzentration im höheren Alter ist in den zum Vergleich herangezogenen Knochen der Barry-Studie nicht zu erkennen; der Autor fand bei Tibia und Rippen auch im hohen Alter weiter ansteigende Bleikonzentrationen.

Entsprechend der im Vergleich zu unseren Ergebnissen höheren Bleikonzentrationen in spongiösen und kompakten Knochen ergibt sich für das von Barry untersuchte Kollektiv auch eine höhere "body burden": bei Männern 165 mg Blei, bei Frauen 104 mg (vgl. 6.1.10.).

Die Abweichung der Ergebnisse beider Studien voneinander in der Höhe der Knochenbleikonzentrationen könnte - neben unterschiedlichen Techniken der Probenaufbereitung und der Bleibestimmung - ihre Ursache in einer höheren umweltbedingten Bleikontamination der Bevölkerung im Industriegebiet Nordwest-Englands, wo Barry 1975 seine Untersuchung durchführte, haben. Auch Gross (1975) kommt bei dem Vergleich seiner Arbeit mit einer früheren Studie des Autors (Barry und Mossman, 1970) zur selben Einschätzung. Besondere Betonung sei an dieser Stelle auf die Feststellung gelegt, daß

die Belastung der Bevölkerung durch das Benzinblei in England 1975 - eine Reduktion auf 0,4 g/l wurde dort erst Anfang der 80er Jahre durchgeführt (Gloag, 1981; vgl. 6.2.1.) - wesentlich höher gewesen ist als sie es für unser Kollektiv 1984 war. Diese Aussage gilt analog auch für andere Autoren dieses Literaturvergleichs.

Die Bleikonzentrationen in den von Barry untersuchten Knochen liegen auch gegenüber den Ergebnissen von Kreglinger (1977, s. 6.2.1.) deutlich höher. Der in beiden Studien untersuchte Schädelknochen (Tab. 22) beispielsweise weist bei Barry eine im Mittel um den Faktor 3,6 bei Männern bzw. 3,2 bei Frauen höhere Bleikonzentration als bei Kreglinger auf. Gleiches gilt, wenn man die Bleikonzentrationen von Röhrenknochen (Barry: Tibia, Kreglinger: Femurmitte) und spongiosareichen Knochen (Barry: Rippen, Kreglinger: Beckenkamm) aus beiden Studien miteinander vergleicht. Aus diesen Befunden läßt sich folgern, daß die Belastung der Bevölkerung mit Blei auch schon Anfang der 70er Jahre, also vor der Reduktion des Benzinbleigehalts in der BR Deutschland (vgl. 6.2.1.), für die Bevölkerung im Nordwesten Englands (Barry) größer gewesen ist als für die Bewohner des südbayerischen Raumes (Kreglinger).

6.2.2.2. Gross, 1975

(USA, ppm-Feuchtgewicht, Dithizon-Methode)

Gross untersuchte Autopsiematerial von 46 erwachsenen Männern. Der Bleigehalt von 29 Gewebearten, darunter die Knochentypen Tibia, Schädel, Rippen und Wirbel (s. Tab. 22) wurde gemessen. Obwohl ein direkter Vergleich mit unseren Ergebnissen (andere Knochentypen!) nicht möglich ist, lassen sich dennoch Wertungen vornehmen.

Gross konnte zeigen, daß in den kompakten Knochen Tibia und Schädel der Bleigehalt mit dem Alter beständig zunimmt, während in den spongiösen Knochen Rippe und Wirbel im höheren Alter kein weiterer Anstieg bzw. eine Abnahme des Bleigehalts zu verzeichnen ist. Wie in 6.1.5. und 6.1.7. beschrieben, konnten wir diese verschiedenartigen Altersverläufe der Bleikonzentration von kompakten bzw. von spongiösen Knochentypen (Felsenbein bzw. Beckenkamm) ebenfalls beobachten.

Eine scheinbare Disharmonie ergibt der Vergleich des Altersverlaufs der Bleikonzentration in den beiden kompaktareichen Röhrenknochen Tibia (Gross) und Femur (unsere Untersuchung). Im Gegensatz zum stetigen Anstieg der Bleikonzentration in der Tibia kommt es in unserem Kollektiv zu einem deutlichen Rückgang der Bleikonzentration im Femur bei den Männern der Altersgruppe über 70 Jahren.

Schließt man jedoch bei Gross aus der Gruppe der über 70-jährigen einen extrem hohen Wert (Bleikonzentration in der Tibia 68 ppm) aus, so liegt der Mittelwert der verbleibenden 5 Individuen dieser Altersgruppe nur unwesentlich über dem Mittelwert der Gruppe der 60- bis 69-jährigen. Der gleiche Schritt, durchgeführt beim Schädelknochen (hier weist die gleiche Person einen Extremwert von 53 ppm auf), ergibt sogar einen deutlichen Rückgang bei der durchschnittlichen Bleikonzentration der über 70-jährigen gegenüber den 60- bis 69-jährigen. Durch Ausschluß des "Ausreißers" in der Altersgruppe ab 70 Jahren läßt sich demnach auch für die zu vergleichenden langen Röhrenknochen ein annähernd gleicher Altersverlauf der Bleikonzentration demonstrieren.

Neben den langen Röhrenknochen lassen sich - in Analogie zu obiger Praxis - auch die Bleikonzentrationen in den von Gross untersuchten Wirbelproben mit den von uns ermittelten Bleikonzentrationen im Beckenkamm vergleichen. Es wird ersichtlich, daß bei Gross die Röhrenknochen etwa 2,5 -mal, die spongiösen Knochen 1,8 -mal mehr Blei enthalten als die entsprechenden Knochen in unserer Studie. Neben einer tatsächlich vorhandenen Mehranreicherung des Bleis in der Tibia und in den Wirbeln gegenüber Femur bzw. Beckenkamm könnten höhere Umweltbelastungen in Cincinnati zu damaliger Zeit oder unterschiedliche analytische Prozeduren die Differenzen in der Höhe der Bleikonzentrationen bewirkt haben.

Der Vergleich der Ergebnisse von Gross mit jenen von Kreglinger (1977, vgl. 6.2.1. und Tab. 22), läßt deutlich werden, daß die von uns festgestellte größere Bleibelastung der Bewohner von Cincinnati 1975 (Gross) gegenüber der heutigen (1984) Bevölkerung des südbayerischen Raumes (s.o.) in nahezu gleichem Ausmaß auch schon gegenüber der südbayerischen Bevölkerung des Jahres 1974 (Kreglinger) bestanden hatte. So liegen die Bleikonzentrationen im Schädelknochen, der von beiden Autoren untersucht

wurde, bei Gross um den Faktor 2,5 höher als bei Kreglinger. Die entsprechenden Faktoren für Röhrenknochen (Gross: Tibia, Kreglinger: Femurmitte) bzw. für spongiosareiche Knochen (Gross: Wirbelknochen, Kreglinger: Beckenkamm) sind mit 2,3 bzw. 1,4 nur geringfügig niedriger als die oben bei dem Vergleich der Ergebnisse von Gross mit unseren Ergebnissen berechneten Faktoren (Röhrenknochen: 2,5/spongiöse Knochen: 1,8).

6.2.2.3. Schroeder und Tipton, 1968

(USA, ppm-Aschengewicht, Emissions-Spektroskopie)

Die Autoren stellten den Bleigehalt verschiedener Gewebe fest. Das Untersuchungsmaterial stammte aus mehreren Erdteilen und umfaßte auch Wirbel- und Rippenknochen. Die Proben waren bereits in den Jahren 1952 bis 1957 zusammengetragen und tiefgefroren konserviert worden.

In Übereinstimmung mit unseren Beobachtungen über den Verlauf der Bleikonzentration mit zunehmendem Alter bei spongiösen Knochen nahmen auch bei Schroeder und Tipton die Konzentrationswerte in den Rippen nach einem Peak im mittleren Lebensalter in den späteren Lebensabschnitten wieder deutlich ab.

Bei Zugrundelegung der von Barry (1975) und Ulrich (1978) gefundenen Umrechnungsfaktoren ergeben sich für die Proben aus verschiedenen Städten der USA Werte der Bleikonzentration, die im Fall der Rippen etwa 11 ppm, bei den Wirbeln 10 ppm Feuchtgewicht betragen. Diese Werte beziehen sich jeweils auf ein größeres Kollektiv, es fehlen allerdings Angaben über die Zusammensetzung nach Alter und Geschlecht.

Der Vergleich der Bleikonzentrationen in Gewebeproben aus verschiedenen Kontinenten ergab, daß in den Rippenknochen von US-Amerikanern im Durchschnitt mehr Blei enthalten ist als bei Bewohnern des Mittleren und Fernen Ostens. Knochenproben aus Europa waren nicht untersucht worden.

Schroeder und Tipton ermittelten eine Gesamtkörperbelastung des erwachsenen US-Bürgers mit Blei von durchschnittlich 122 mg mit einem möglichen Schwankungsbereich von 50 bis 200 mg. Ein Vergleich mit dem entsprechenden Wert aus unserer Arbeit (s. 6.1.10.) läßt darauf schließen, daß

die Bleibelastung der amerikanischen Bevölkerung in den 50er Jahren größer gewesen ist, als sie es 1984 für unser Kollektiv war.

6.2.2.4. Ulrich, 1978

(Schweiz, ppm-Aschengewicht, Dithizon-Extraktion)

Ulrich bestimmte Bleikonzentrationen in Wirbeln und Rippen. Der Autor kommt zu dem Ergebnis, daß in beiden Knochentypen die Bleikonzentration mit dem Lebensalter zunimmt. Diese Aussage ist anzuzweifeln, weil die Altersklasseneinteilung für Erwachsene zu grob ist (2 Klassen: bis 50 Jahre, ab 50 Jahre), um den von Gross (1975), Schroeder und Tipton (1968) sowie in unseren Untersuchungen gefundenen Rückgang der Bleikonzentration in spongiösen Knochen des alten Menschen zu erfassen.

Unter Verwendung der vom Autor genannten Umrechnungsfaktoren ergeben sich für die Gesamtheit der Erwachsenen Werte der Bleikonzentration von 2,7 ppm (Rippe) bzw. 3,0 ppm (Wirbel) bezogen auf Feuchtgewicht. Diese Konzentrationswerte für die beiden vorwiegend spongiosahaltigen Knochentypen sind geringfügig höher als die Ergebnisse für den Beckenkamm in unserer Untersuchung.

6.2.2.5. Fischer und Weigert, 1979

(München, ppm-Feuchtgewicht, AAS)

Die Autoren untersuchten den Schwermetallgehalt einiger menschlicher Gewebearten, darunter Proben von Felsenbein, Wirbelknochen und Clavicula.

Ein direkter Vergleich ist mit den Ergebnissen für das Felsenbein aus unserer Untersuchung möglich. In beiden Studien stellt sich das Felsenbein als der Knochentyp mit der größten Bleispeicherung dar. Mit zunehmendem Lebensalter ist ein stetiger Anstieg der Bleikonzentration im Felsenbein zu beobachten. Im Einklang mit unseren Ergebnissen ist darüber hinaus die Feststellung, daß Männer im Vergleich zu Frauen im Felsenbein höhere Werte der Bleikonzentration aufzuweisen haben: die Durchschnittswerte für Männer und Frauen im Erwachsenenalter liegen mit 5,0 ppm bzw. 4,4 ppm bei Fischer/Weigert allerdings beträchtlich niedriger als bei unserem Kollektiv (vgl. Tab. 18). Clavicula und Wirbelknochen erreichen bei Fi-

scher/Weigert im Mittel sehr niedrige Konzentrationswerte (<1 ppm). Zu beachten ist ferner die große Streubreite der Meßwerte bei allen 3 Knochentypen.

6.2.2.6. Grandjean, 1975

(Dänemark, ppm-Trockengewicht, AAS)

Grandjean bestimmte die Bleikonzentration in Autopsiematerial, das 1972 an der Universität in Kopenhagen gesammelt worden war. Dabei wurden auch Knochenproben untersucht:

1. Wirbelknochen von 126 Individuen aller Altersklassen;
2. Wirbelknochen, Beckenkamm und die Pars squamosa des Schläfenbeins von 16 zufällig ausgewählten Personen.

Ad 1.: Der Autor kommt zu dem Schluß, daß die Bleikonzentration in den spongiösen Wirbelknochen mit dem Lebensalter zunimmt. Das Ausmaß dieses Konzentrationsanstiegs ist gering; einen statistisch signifikanten Unterschied ergibt nur der Vergleich der mittleren Bleikonzentrationen von Personen unter 25 Jahren einerseits und Personen über 55 Jahren andererseits.

Eine Abhängigkeit der Bleikonzentration im Wirbelknochen vom Geschlecht ist bei dem von Grandjean untersuchten Kollektiv nicht festzustellen.

Um die Meßergebnisse für spongiöse Knochen aus beiden Studien (Grandjean: Wirbelknochen, unsere Untersuchung: Beckenkamm) in Beziehung setzen zu können, ist bei Grandjean ein rechnerischer Ausgleich der unausgeglichene Altersverteilung (Durchschnittsalter der Erwachsenen: Männer 51,9 Jahre, Frauen 57,7 Jahre) sowie eine Umrechnung der Konzentrationsangaben auf die Bezugseinheit Feuchtgewicht durchzuführen.

Unter Verwendung des vom Autor angenommenen Umrechnungsfaktors (Knochen: Feuchtgewicht = $1,1 \times$ Trockengewicht) resultiert für die von Grandjean untersuchten Personen ein Mittelwert der Bleikonzentration im Wirbelknochen des Erwachsenen von $1,7$ ppm bei Männern und $1,4$ ppm bei Frauen. Die von Grandjean ermittelte mittlere Bleikonzentration im Wirbelknochen des Erwachsenen ist demnach niedriger als der entsprechende Wert für den Beckenkamm in unserer Untersuchung. Sie ist darüber hinaus auch nied-

riger als die von den anderen Autoren dieses Literaturvergleichs für Wirbelknochen angegebenen Bleikonzentrationen.

Auf der Basis der gemessenen Bleikonzentrationen berechnet Grandjean die Gesamtkörperbelastung der zeitgenössischen dänischen Bevölkerung mit Blei und beziffert sie für Personen im Alter über 55 Jahren auf 15 - 25 mg, bei einem Mittelwert von 19 mg. Dieser Wert der "body burden" entspricht ungefähr dem Wert, den wir in unserer Untersuchung für die erwachsene Frau berechnet haben (vgl. 6.1.10.).

Ad 2.: Die von Grandjean bei 16 Personen durchgeführten Konzentrationsmessungen lassen eine Abhängigkeit der Bleikonzentration vom Knochentyp deutlich werden. Das Schläfenbein weist im Mittel eine signifikant höhere Bleikonzentration auf als die spongiösen Knochen Beckenkamm und Wirbelknochen, deren Bleigehalte fast identisch sind.

Die von Grandjean festgestellte stärkere Einlagerung von Blei in den Temporalknochen gegenüber den spongiösen Knochen (z.B. Beckenkamm) ist in Übereinstimmung mit unseren, in 6.1.2. beschriebenen Ergebnissen.

Ein weitergehender quantitativer Vergleich mit Ergebniswerten aus unserer Untersuchung ist wegen des Fehlens jeglicher Angaben bezüglich Alter und Geschlecht der 16 Personen nicht durchführbar.

6.2.2.7. Grandjean, 1979

(Dänemark, ppm-Feuchtgewicht, AAS)

In einer anderen Studie vergleicht Grandjean den Bleigehalt archäologischer Funde mit dem zeitgenössischen Dänen. Untersucht wurde wiederum der Temporalknochen. In dem Dänenkollektiv aus 8 Frauen und 9 Männern mit einem Durchschnittsalter von 40 Jahren wurde eine mittlere Bleikonzentration von 5,5 mg/kg (Spannweite: 3,7 - 8,8 mg/kg) gemessen. Dieser Konzentrationswert deckt sich mit dem Wert der Bleikonzentration im Felsenbein aller 40- bis 49-jährigen Individuen in unserer Untersuchung (s. Tab. 13). Auch Grandjean fand einen Anstieg der Bleikonzentration im Felsenbein mit zunehmendem Alter.

6.2.2.8. Lindh, 1980 a

(Schweden, ppm-Feuchtgewicht, AAS)

Lindh untersuchte u.a. den Bleigehalt in Femurknochen von Raffineriearbeitern im Alter von 45 - 75 Jahren und verglich die Konzentrationswerte mit denen einer beruflich nicht Blei-belasteten Kontrollgruppe. Geht man davon aus, daß es sich auch bei den Individuen der Kontrollgruppe um Männer zwischen 45 und 75 Jahren gehandelt haben dürfte - entsprechende Daten sind nicht angegeben - so erweisen sich die von Lindh bei den Mitgliedern der Kontrollgruppe gemessenen Bleikonzentrationen (Mittelwert 2,85 ppm, Spannweite 2,4 - 4,9 ppm) als deutlich niedriger als die Konzentrationen, die wir in Femurknochen von Männern im Alter über 40 Jahren fanden. Dagegen liegt der Mittelwert der Bleikonzentration in Femora von Raffineriearbeitern mit 15 ppm erwartungsgemäß höher als die von uns für Männer zwischen 45 und 75 Jahren ermittelten Konzentrationswerte (vgl. Tab. 15).

6.2.2.9. Jeanmaire, 1976

(Frankreich, ppm-Aschengewicht, Röntgenfluoreszenz)

Jeanmaire berichtet über die Bestimmung des Bleigehalts in Rippen- und Wirbelproben, die von 1970 - 1975 im Pariser Raum gesammelt worden waren. Das Untersuchungsmaterial wurde in Krankenhäusern der französischen Hauptstadt zusammengetragen; es stammt von 1393 Patienten im Alter von einem Tag bis zu 99 Jahren. Die Alterszusammensetzung des Untersuchungsgutes ab dem 20. Lebensjahr ist inhomogen; entsprechend dem in der Bevölkerung vorherrschenden Sterbealter sind die Proben aus den Altersklassen zwischen dem 60. und dem 80. Lebensjahr am stärksten vertreten. Das Durchschnittsalter bei den Männern beträgt 61,1 Jahre, bei den Frauen 62,1 Jahre. Um einen Vergleich mit unseren Ergebnissen zu ermöglichen, ist also zum einen ein rechnerischer Ausgleich der unausgewogenen Altersverteilung sowie eine Transformation der Knochenbleikonzentrationen auf die Bezugseinheit Feuchtgewicht erforderlich.

Nach Gewichtung der Konzentrationswerte für die verschiedenen Altersklassen und unter Verwendung der von Ulrich (1978) gefundenen Umrechnungsfak-

toren ergeben sich für die Gesamtheit der Erwachsenen Mittelwerte der Bleikonzentration von 0,3 ppm für Rippenknochen bzw. von 8,3 ppm für Wirbelknochen, jeweils bezogen auf das Feuchtgewicht.

Ein Vergleich der Ergebnisse von Jeanmaire mit den Ergebnissen anderer Autoren, die den Bleigehalt in Rippen- und Wirbelknochen bestimmt haben, läßt erkennen, daß von einer Mehrzahl der Autoren niedrigere Bleikonzentrationen in diesen Knochentypen festgestellt wurden. So liegen bei Barry (1975), Gross (1975), Grandjean (1975) und Ulrich (1978) die mittleren Bleikonzentrationen in beiden Knochentypen z.T. deutlich unter den von Jeanmaire angegebenen Werten. Lediglich Schroeder und Tipton ermittelten für beide Knochentypen geringfügig höhere Bleikonzentrationen: Dabei fällt auf, daß der Quotient aus

Bleikonzentration in Rippen : Bleikonzentration in Wirbeln (R/W)

in der Studie von Schroeder und Tipton den gleichen Wert annimmt wie in der Studie von Jeanmaire, nämlich $R/W = 1,1$. (In der Bezugseinheit Aschengewicht ist $R/W = 0,89$; Ursache für diese Differenz sind unterschiedliche Umrechnungsfaktoren für Rippen bzw. Wirbel (Ulrich, 1978)).

Im Einklang mit den Ergebnissen unserer Untersuchung stellt Jeanmaire eine bei Männern gegenüber Frauen um 21% höhere Bleieinlagerung in die Knochen fest. Insbesondere ist auch bei Jeanmaire die in 6.1.7. beschriebene geschlechtsabhängige Altersentwicklung der Knochenbleikonzentration zu erkennen, wonach in den Knochen von Männern im jüngeren Erwachsenenalter nur geringfügig mehr, im höheren Alter jedoch erheblich mehr Blei gespeichert wird als in den Knochen von Frauen.

Darüber hinaus weisen die Rippen- und Wirbelproben der Jeanmaire-Studie den von uns für den spongiösen Beckenkamm gefundenen Altersverlauf der Knochenbleikonzentration auf: Nach einem Anstieg bis etwa zum 60. Lebensjahr kommt es zu einer Plateaubildung und im weiteren Verlauf wieder zu einer Verminderung der Bleikonzentration (vgl. 6.1.5.). Die Mittelwerte der Bleikonzentration in beiden von Jeanmaire untersuchten Knochentypen liegen jedoch erheblich über dem Ergebnis für den Beckenkamm aus unserer Untersuchung.

Jeanmaire berechnet die Gesamtmenge an Blei in den Knochen von 50-jährigen; sie beträgt 115 mg bei Männern und 78 mg bei Frauen. Aus diesen

Angaben läßt sich die Gesamtkörperbelastung mit Blei berechnen, wenn man nach Barry (1975) zugrundelegt, daß im Erwachsenenalter 94,4% des Gesamtkörperbleis beim Mann bzw. 94,0% bei der Frau im Skelettsystem vorliegen. Demnach beläuft sich die "body burden" bei den 50-jährigen Männern der Jeanmaire-Stunde auf 122 mg Blei, bei den 50-jährigen Frauen auf 83 mg.

Eine zu Vergleichszwecken angestellte Berechnung der Gesamtkörperbelastung der 46- bis 54-jährigen aus unserem Untersuchungsgut (s. Tab. 6 , gleiche Berechnungsmethode wie in 6.1.10.) ergibt eine Bleimenge im Körper von insgesamt 46,3 mg bei Männern und 31,6 mg bei Frauen.

Als Ergebnis aller Berechnungen wird deutlich, daß die "body burden" von Erwachsenen in dem von Jeanmaire untersuchten Kollektiv bei beiden Geschlechtern jeweils um den Faktor 2,6 höher ist als die "body burden" in unserem Kollektiv. Die möglichen Ursachen hierfür entsprechen denen, die bei der Diskussion der Ergebnisse von Barry (1975; vgl. 6.2.2.1.) erörtert wurden.

7. ZUSAMMENFASSUNG

In dem Zeitraum zwischen Oktober 1983 und Februar 1985 wurden im Rahmen der im Institut für Rechtsmedizin der Universität München durchgeführten Sektionen bei 240 Leichen im Erwachsenenalter (= ab dem 20. Lebensjahr) Knochenproben von Beckenkamm, Femurschaft und Felsenbein entnommen. Um ein ausgeglichenes Kollektiv bezüglich der Kriterien Geschlecht, Lebensbereich (nach dem letzten Wohnort Stadt oder Land) und Lebensalter zu erhalten, wurden pro Lebensalterdekade von jeweils 10 Männern und 10 Frauen aus dem Großraum München sowie von 10 Männern und 10 Frauen aus dem südbayerischen Umland Knochenproben gesammelt. In keinem der Fälle war eine besondere berufliche Bleibelastung bekannt. Die Bleikonzentrationen in den Knochen - angegeben in mg Blei/kg Knochen-Feuchtgewicht (=ppm) - wurden anschließend mittels flammenloser Atomabsorptionsspektrometrie bestimmt.

Auf der Basis geometrischer Mittelwerte lassen die Meßergebnisse eine Abhängigkeit der Bleikonzentration vom Knochentyp, vom Geschlecht und vom Lebensalter, nicht jedoch vom Lebensbereich (Stadt/Land) erkennen.

In den kompaktreichen Knochen Felsenbein (5,59 ppm) und Femurschaft (3,86 ppm) liegen die Bleikonzentrationen signifikant höher als in dem spongiosareichen Beckenkamm (1,65 ppm; jeweils n=240).

In den Knochen von Männern werden höhere Bleikonzentrationen als in den Knochen von Frauen festgestellt. Im Mittel enthält bei Männern (n=120) der Beckenkamm (=Bk) 38,3%, der Femurschaft (=Fs) 51,3% und das Felsenbein (=Fb) 24,8% mehr Blei als bei Frauen (n=120). (Männer/Frauen in 'ppm':

Bk: 1,95/1,41; Fs: 4,75/3,14; Fb: 6,24/5,00). Der geschlechtsspezifische Unterschied der Bleikonzentration in den Knochen nimmt mit steigendem Lebensalter zu.

Die mittleren Bleikonzentrationen in Knochen der Stadtbevölkerung (Großstadt München, n=120) unterscheiden sich bei keinem der untersuchten Knochentypen signifikant von denen in Knochen der Landbevölkerung (übriges Südbayern, n=120). (Stadt/Land in 'ppm': Bk: 1,72/1,59; Fs: 3,99/3,74; Fb: 5,61/5,57).

Die Abhängigkeit der Bleikonzentration vom Geschlecht ist bei der Landbevölkerung deutlicher ausgeprägt als bei der Stadtbevölkerung. Im Durchschnitt weisen männliche Landbewohner im Beckenkamm um 59,5%, im Femurschaft um 65,5%

und im Felsenbein um 36,3% höhere Bleikonzentrationen auf als weibliche Landbewohner. Dagegen sind die Bleikonzentrationen in Knochen von männlichen Stadtbewohnern nur um 19,0% (Beckenkamm), 38,3% (Femurschaft) bzw. 14,3% (Felsenbein) höher als bei weiblichen Stadtbewohnern.

Der Altersverlauf der Bleikonzentration ist je nach Knochentyp verschieden: Im Beckenkamm erreicht die Bleikonzentration ein Maximum bei Frauen im 5. Lebensjahrzehnt bzw. bei Männern im 6. Lebensjahrzehnt und nimmt im höheren Alter wieder ab. Im Femurschaft steigt die Bleikonzentration bei Männern bis zu einem Höchstwert im 7. Lebensjahrzehnt an, während sie bei Frauen vom 4. Lebensjahrzehnt an bis ins hohe Alter konstant bleibt. Im Felsenbein steigt die Bleikonzentration bei beiden Geschlechtern mit zunehmendem Lebensalter beständig an.

Die aus unseren Meßwerten für die Erwachsenen aus dem südbayerischen Raum berechnete Gesamtkörperbelastung mit Blei beträgt bei Männern durchschnittlich 41 mg, bei Frauen 24 mg.

Im Vergleich zu den Ergebnissen einer im Jahre 1974 an unserem Institut durchgeführten Untersuchung (Kreglinger, 1977) sind die Bleikonzentrationen in den Knochen der Bevölkerung des südbayerischen Raumes z.T. erheblich zurückgegangen. Dieser Rückgang ist mit großer Wahrscheinlichkeit auf die in der BR Deutschland gesetzlich verfügte Reduktion des Bleigehalts im Benzin von 0,4 g/l auf 0,15 g/l ab 1. Januar 1976 zurückzuführen.

Die vergleichende Betrachtung unserer Ergebnisse mit den Angaben aus der Literatur läßt erkennen, daß im Mittel die Bleikonzentrationen in den Knochen von erwachsenen Menschen aus dem südbayerischen Raum 1984 geringer sind als die Konzentrationswerte, die in den 50er Jahren bei Einwohnern von Großstädten der USA (Schroeder und Tipton, 1968) bzw. in den 70er Jahren bei Bewohnern des hochindustrialisierten Nordwesten Englands (Barry, 1975) und bei Einwohnern der Städte Paris (Jeanmaire, 1976) sowie Cincinnati (Gross, 1975) festgestellt wurden.

Der Bleigehalt in den Knochen unseres Untersuchungsgutes liegt geringfügig unter den 1978 in der Schweiz (Ulrich) ermittelten Werten, ist aber höher als bei einem dänischen (Grandjean, 1975) bzw. einem schwedischen (Lindh, 1980) Vergleichskollektiv.

8. LITERATURVERZEICHNIS

1. Annest, J.L.; Pirkle, J.L.; Makuc, D.; Neese, J.W.; Bayse, D.D.; Kovar, M.G. (1983): Chronological trend in blood lead levels between 1976 and 1980. *New Engl. J. Med.* 308, 1373-1377.
2. Barry, P.S.I.; Mossman, D.B. (1970): Lead concentrations in human tissues. *Brit. J. Industr. Med.* 27, 339-351.
3. Barry, P.S.I. (1975): A comparison of concentrations of lead in human tissues. *Brit. J. Industr. Med.* 32, 119-139.
4. Bimbös, . (1984): Schadstoffe und Rückstände in pflanzlichen Nahrungsmitteln. Art, Herkunft und Möglichkeiten ihrer Reduzierung. Hessischer Minister für Landesentwicklung und Umwelt, Landwirtschaft und Forsten. Referat Schadstoffe in der Nahrungskette. Wiesbaden, Februar 1984.
5. Borneff, J.: Hygiene: Ein Leitfaden für Studenten und Ärzte. 4. Aufl. Thieme, Stuttgart, 1982, 314-318.
6. Brockhaus, A.; Freier, I.; Ewers, U.; Baginski, B.; Krämer, U.; Dolgner, R. (1980): Epidemiologische Untersuchungen zur ökologischen Bleibelastung von männlichen Großstadtbewohnern in Nordwestdeutschland. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 46, 59-70.
7. Brockhaus, A.; Freier, I.; Ewers, U.; Jermann, E.; Dolgner, R. (1983): Levels of Cadmium and Lead in Blood in Relation to Smoking, Sex, Occupation, and Other Factors in an Adult Population of the FRG. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 52, 167-175.
8. Brown, K.S.; Cherry, W.H.; Forbes, W.F. (1979): Blood lead concentration as an indicator of lead body burden (letter). *Can. Med. Assoc. J.* 120, 1485-1486.
9. Collet, P. (1983): Über den Blei- und Cadmiumgehalt in Lebensmitteln. in: *Wissenschaft und Umwelt ISU (RWTH Aachen)* 1/1983, 12-18.
10. Crawford, M.D.; Clayton, D.G. (1973): Lead in Bones and Drinking Water in Towns with Hard and Soft Water. *Brit. Med. J.* 2, 21-23.
11. De Michele, S.J. (1983): Nutrition of lead. *Comp. Biochem. Physiol.* 78 A, 401-408.
12. Dewes, E. (1983): Blei und Cadmium in saarländischen Gewässern, im Trink- und Abwasser. in: *Wissenschaft und Umwelt ISU (RWTH Aachen)* 1/1983, 8-11.
13. Drasch, G.A. (1983): Die anthropogene Blei- und Cadmiumbelastung des Menschen. Untersuchungen an Skelett- und Organmaterial. Habilitationsschrift Ludwig-Maximilians-Universität München, 1983.

14. Drasch, G.A.; von Meyer, L.; Kauert, G. (1985): A comparison of the Lead Concentrations of Human Bones 1974-1984. International Conference : Heavy Metals in the Environment, Athens, 1985. Proceedings (ed. T.D. Lekkas), Vol. I, 433-435, CEP Consultants Ltd., Edinburgh, U.K.
15. Eder, M.; Gedigk, P.: Lehrbuch der Allgemeinen Pathologie und der Pathologischen Anatomie. 30. Aufl. Springer, Berlin Heidelberg, 1977, 765-767.
16. Einbrodt, H.J. (1983): Die Belastung des Menschen durch Blei und Cadmium. in: Wissenschaft und Umwelt ISU (RWTH Aachen) 1/1983, 36-40.
17. Emmerson, B.T. (1973): Chronic lead nephropathy. *Kidney Int.* 4, 1-5.
18. Ewers, U.; Schlipkötter, W.: Blei. in: E. Merian (ed.): Metalle in der Umwelt, Verlag Chemie, Weinheim, 1984, 351-376.
19. Fischer, H.; Weigert, P. (1979): Schwermetalle in menschlichen Geweben. in: Wissenschaft und Umwelt ISU (RWTH Aachen) 2/1979, 99-101.
20. Forth, W.; Henschler, D.; Rummel, W. (ed.): Allgemeine und Spezielle Pharmakologie und Toxikologie. Bibliographisches Institut, Zürich, 1975, 547-549.
21. Gloag, D. (1981): Sources of lead pollution. *Br. Med. J.* 282, 41-44.
22. Gräf, W.; Baars, U.; Grote, S.; Übelmesser, W.J. (1980): Die Auswirkungen des Benzin-Blei-Gesetzes auf den Gehalt an Blei und 3,4-Benzpyren im städtischen Umweltstaub. *Zbl. Bakt. Hyg., 1. Abt. Orig. B* 170, 388-401.
23. Gräf, W. (1982): Immissionsbedingte Schadstoffe in der menschlichen Nahrung. in: Immissionsbelastung ländlicher Ökosysteme. Akademie für Naturschutz und Landespflge Laufen/Salzach, Laufener Seminarbeiträge 2/82, 41-44.
24. Grandjean, P. (1975): Lead in Danes. Historical and toxicological studies. in: Coulston, F.; Korte, F. (ed.). *Environmental Quality and Safety*, Suppl. Vol. 2, New York, Academic Press, 1975, 6-75.
25. Grandjean, P.; Nielsen, O.V.; Shapiro, I.M. (1979): Lead retention in ancient Nubian and contemporary populations. *J. Environ. Pathol. Toxicol.*, 2, 781-787.
26. Gross, R.; Schölmerich, P. (ed.): Lehrbuch der Inneren Medizin, 6. Aufl. Schattauer, Stuttgart, 1982, 1290-1291.
27. Gross, S.B.; Pfitzer, E.A.; Yeager, D.W.; Kehoe, R.A. (1975): Lead in Human Tissues. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 32, 638-651.
28. Hammer, D.I.; Calocci, A.V.; Hasselblad, V.; Williams, M.E.; Pinkerson, C. (1973): Cadmium and Lead in Autopsy Tissues. *J. Occup. Med.* 15, 956-963.
29. Heard, M.J.; Chamberlain, A.C. (1984): Uptake of Pb by human skeleton and comparative metabolism of Pb and alkaline earth elements. *Health Phys.* 47, 857-865.

30. Hüll, K.; Carlson, S.; Lüdemann, D.; Rüffer, H.: Wasser: Beurteilung, Aufbereitung, Chemie, Bakteriologie, Virologie, Biologie. 6. Aufl. de Gruyter, Berlin, 1979, 260-261.
31. Jantzen, G. (1981): Blutbleiuntersuchungen durch den öffentlichen Gesundheitsdienst in einem industriellen Belastungsgebiet. Öff. Gesundh.-Wesen 43, 604-609.
32. Jeanmaire, L.; Patti, F.; Gros, R.; Cappellini, L.; Garcet, M.; Laporte, J. (1976): Teneurs en Plomb d'os Humains Provenant de la Région Parisienne: Rapport CEA-R-4800, Centre d'Etudes Nucléaires Fontenay-aux-Roses.
33. Kaiser, H.: Zum Problem der Nachweisgrenze. Fresenius Z. Anal. Chem. 209, 1-18 (1965).
34. Kampe, W. (1983): Die Rückstandssituation bei Nahrungsmitteln pflanzlicher Herkunft. in: Wie sicher sind unsere Lebensmittel? Wissenschaftler antworten. Schriftenreihe des Bundes für Lebensmittelrecht und Lebensmittelkunde e.V. Heft 102, 2. Aufl. bbv, Bonn, 1983, 138-150.
35. Kehoe, R.A. (1961): The Harben Lectures, 1960: The metabolism of lead in man in health and disease. 4. The metabolism of lead under normal conditions. J. Roy. Inst. Publ. Hlth. Hyg. 24, 81-96 (zit. nach Lehnert, 1983).
36. Klein, E. (1983): Sichere Lebensmittel durch die amtliche Lebensmittelkontrolle. in: Wie sicher sind unsere Lebensmittel? Wissenschaftler antworten. Schriftenreihe des Bundes für Lebensmittelrecht und Lebensmittelkunde e.V. Heft 102, 2. Aufl. bbv, Bonn, 1983, 90-107.
37. Koelsch, F.: Lehrbuch der Arbeitsmedizin. Bd. I. Enke, Stuttgart, 1963 (zit. nach Lehnert, 1983).
38. Konietzko, H. (1979): Die chronische Bleivergiftung. Med. Welt 30, 683-686.
39. Kreglinger, R.: Untersuchungen zum Bleigehalt menschlicher Knochen. Dissertation Ludwig-Maximilians-Universität München, 1977.
40. Kuschinsky, G.; Lüllmann, H.: Kurzes Lehrbuch der Pharmakologie und Toxikologie. 10. Aufl. Thieme, Stuttgart, 1984, 456-457.
41. Lawther, P.J.; Commins, B.T.; Ellison, J. McK; Biles, B.: More observations on airborne lead. in: Commission of the European Communities (ed.). Tagungsberichte Internationales Symposium: Die gesundheitlichen Aspekte der Umweltverschmutzung durch Blei. Amsterdam, October 2-6, 1972. Luxembourg, 1973 (zit. nach Lehnert, 1983).
42. Lehnert, G.; Szadkowski, D.: Die Bleibelastung des Menschen. Verlag Chemie, Weinheim, 1983.
43. Lieback, J.U.; Rüden, H. (1983): Konzentrationsbestimmungen von Eisen, Blei, Cadmium, Arsen und Selen in lungengängigen und nicht lungengängigen Fraktionen des Berliner Stadtaerosols. Zbl. Bakt. Hyg., 1. Abt. Orig. B 177, 37-56.

44. Liese, T.; Simon, J. (1984): Schwermetallspuren im menschlichen Knochen - Probleme bei der Analyse und Interpretation. *Fresenius Z. Anal. Chem.* 317, 482-483.
45. Lindh, U.; Brune, D.; Nordberg, G.; Wester, P.O. (1980 a): Levels of antimony, arsenic, cadmium, copper, lead, mercury, selenium, tin and zinc in bone tissues of industrially exposed workers. *Sci. Total Environ.*, 16, 109-116.
46. Lindh, U. (1980 b): A Nuclear Microprobe Investigation of Heavy Metal Distribution in Individual Osteons of Human Femur. *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, 31, 737-746.
47. Mahaffey, K.R.; Rader, J.I. (1980): Metabolic interactions: Lead, calcium, and iron. *Ann. NY Acad. Sci.*, 355, 285-297.
48. Moore, M.R. (1979): Diet and lead toxicity. *Proc. Nutr. Soc.*, 38, 243-250.
49. Murozumi, M.; Chow, T.J.; Patterson, C: Chemical Concentrations of Pollutant Lead Aerosols, Terrestrial Dusts and Sea Salts in Greenland and Antarctic Snow Strata. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 33 (1969), 1247-1294 (zit. nach Grandjean, 1975).
50. Nielsen, F.H. (1984): Ultratrace elements in nutrition. *Annu. Rev. Nutr.*, 4, 21-41.
51. Ott, J.: Dissertation Ludwig-Maximilians-Universität München (in Bearb.).
52. Poeck, K: Neurologie: Ein Lehrbuch für Studierende und Ärzte. 6. Aufl. Springer, Berlin Heidelberg, 1982, 375-376.
53. Rabinowitz, M.B.; Wetherill, G.W.; Kopple, J.D. (1976): Kinetic Analysis of Lead Metabolism in Healthy Humans. *J. Clin. Invest.* 58, 260-270.
54. Ritz, E. (1985): Bleibelastung und Niere. *Therapiewoche* 35, 5253-5265.
55. Röderer, G. (1984): Das Benzinblei und seine Angriffspunkte. Neue Ergebnisse zum toxischen Wirkungsmechanismus. *forschung - Mitteilungen der DFG* 1/84, 13-14.
56. Schroeder, H.A.; Tipton, I.H. (1968): The Human Body Burden of Lead. *Arch. Environ. Health* 17, 965-978.
57. Schwörer, I.; Kaul, A.; Stolpmann, H.J.; Hunger, J. (1983): Bleieinlagerung im Knochen - Röntgenaufnahme als Nachweismethode? *ROFO*, 138, 84-94.
58. Sharrett, R. (1977): Water hardness and cardiovascular disease. Elements in water and human tissues. *Sci. Total Environ.* 7, 217-226.

59. Sinn, W. (1980): Über den Zusammenhang von Luftbleikonzentration und Bleigehalt des Blutes von Anwohnern und Berufstätigen im Kerngebiet einer Großstadt (Blutbleistudie Frankfurt). I. Versuchsanlage und Differenzprüfung. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 47, 93-118.
60. Treptow, H.; List, D. (1983): Schwermetallkonzentrationen von Obst, Gemüse und Speisepilzen in ihrer Bedeutung für die Ernährung. *Ernährungsumschau* 30, Heft 9, 301-303.
61. Ulrich, L. (1978): Untersuchungen über den Bleigehalt in Wirbeln und Rippen. *Arch. Toxicol.*, 41, 133-148.
62. Wedeen, R. (1983): Lead and the Gouty Kidney. *Am. J. Kidney Dis.*, 2, 559-563.
63. Weigert, P.: Ernährungsbericht 1984. Hrsg. von der Deutschen Gesellschaft für Ernährung e.V. i.A. des Bundesministers für Jugend, Familie und Gesundheit und des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Frankfurt/Main, 81-87.
64. Welz, B.: Atomabsorptionsspektrometrie. 3. Aufl. Verlag Chemie, Weinheim, 1983.

LEBENS LAUF

Joachim Günter Alfred Böhm

geboren:

21.04.1960 in Stuttgart

Vater: Günter Böhm, Berufssoldat

Mutter: Elisabeth Böhm, geb. Heger

eine Schwester: Sylvia

Schulbildung:

1966 - 1968 Deutsche Schule Budel/Niederlande

1968 - 1970 Volksschule Wetzlar/Lahn

1970 - 1979 Luisengymnasium München

Abitur:

27.06.1979

Bundeswehr:

Grundwehrdienst Juli 1979 - September 1980

Studium:

Humanmedizin

an der Technischen Universität München

Wintersemester 1980/81 - Sommersemester 1986

Approbation:

13.11.1986

Doktorarbeit:

Institut für Rechtsmedizin

der Ludwig-Maximilians-Universität München

seit April 1984

